

# Air, Karbohidrat dan Lipid

*by* Yudi Garnida -

---

**Submission date:** 07-Jan-2022 06:27AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1738299514

**File name:** Air\_Karbohidrat\_dan\_Lipid\_Proofing.pdf (8.99M)

**Word count:** 53877

**Character count:** 333815



# Air, Karbohidrat dan Lipid

Dr. Ir Yudi Garnida, M.S

## Air, Karbohidrat dan Lipid

Penyusun:  
Dr. Ir Yudi Garnida, M.S

Penyunting: Aep Syaiful H.  
Penata Sampul: Rifqi Z.  
Penata Aksara: A. S.H

Penerbit:

**MANGGU MAKMUR TANJUNG LESTARI**

(ANGGOTA IKAPI)

Bandung—Indonesia  
www.penerbitmanggu.co.id

**2021**

290 hlm ; 15,5 cm × 24 cm

ISBN .....

## Kata Pengantar

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang  
Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan atau huruf h, untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan atau huruf g, untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

©Hak Cipta dilindungi Undang-Undang  
Diterbitkan oleh Penerbit Manggu Makmur Tanjung Lestari  
Bandung, 2021

## Daftar Isi

Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi .....	iv
<b>BAB 1 AIR.....</b>	<b>1</b>
1.1 Kimia Air.....	3
1.1.1 Air Menjadi Es .....	9
1.1.2 Air menjadi Uap .....	14
1.2 Sifat Fisik Air.....	14
1.3 Larutan.....	19
1.3.1 Jenis Larutan Berdasarkan Bentuknya .....	20
1.3.2 Larutan Berdasarkan Ukuran Zat Terlarut.....	23
1.4 Jenis-jenis Air dalam Bahan Pangan.....	24
1.4.1 Air Terikat .....	25
1.4.2 Air Bebas.....	28
1.4.3 Air Kristal .....	29
1.4.4 Air Imbibisi .....	31
1.5 Peranan Air dalam Bahan dan Produk Pangan .....	33
1.5.1 Kadar Air.....	40
1.5.2 Aktivitas Air ( $a_w$ ) .....	43
1.6 Memperpanjang Umur Simpan Bahan/Produk Dengan Proses Pengeringan, Penguapan, Pembekuan dan Ozonisasi .....	56
1.6.1 Pengeringan.....	56
1.6.2 Penguapan.....	75
1.6.3 Pembekuan .....	78
1.6.4 Ozonisasi.....	86

<b>BAB 2 KARBOHIDRAT .....</b>	<b>91</b>
2.1 Monosakarida.....	95
2.1.1 Isomerisasi Monosakarida.....	103
2.1.2 Bentuk Cincin Monosakarida.....	104
2.1.3 Glikosida.....	107
2.1.4 Reaksi yang Terjadi pada Monosakarida .....	108
2.2 Oligosakarida.....	117
2.2.1 Disakarida .....	118
2.2.2 Trisakarida.....	126
2.2.3 Tetrasakarida .....	128
2.2.4 Siklodekstrin .....	128
2.3 Polisakarida.....	135
2.3.1 Pati.....	136
2.3.2 Selulosa.....	150
2.3.4 Agar.....	156
2.3.5 Karagenan .....	157
2.3.6 Alginat.....	159
2.3.7 Gum.....	160
2.3.8 Hemiselulosa.....	166
2.3.9 Pektin .....	167
2.4 Sifat Fisik dan Kemanisan Karbohidrat.....	177
2.4.1 Higroskopisitas dan Kelarutan.....	177
2.4.2 Rotasi Optik dan Mutarotasi.....	177
2.4.3 Kemanisan.....	180
2.5 Reaksi Browning.....	184
2.5.1 <i>Browning</i> Non Enzimatis .....	184
2.5.2 <i>Browning</i> Enzimatis .....	203
2.6 Serat Bahan Pangan ( <i>Dietary Fiber</i> ) .....	206

BAB 3 LIPID.....	213
3.1. Sumber Lipid .....	216
3.1.1 Sumber Lemak/Minyak Nabati .....	218
3.1.2 Sumber Hewani.....	229
3.2. Klasifikasi Lipid .....	239
3.2.1 Klasifikasi Lipid Berdasarkan Strukturnya.....	240
3.2.2 Klasifikasi Lipid Berdasarkan Polaritasnya .....	243
3.3. Asam Lemak.....	244
3.3.1 Tata Nama Asam Lemak.....	245
3.3.2 Asam Lemak Jenuh .....	248
3.3.3 Isomerisasi Asam Lemak.....	261
3.3.4 Asam Lemak Siklik .....	263
3.3.5 Asam Lemak Bercabang .....	263
3.4. Asilgliserol (Gliserida).....	264
3.4.1 Monoasilgliserol (Monogliserida) dan Diasilgliserol (Digliserida) .....	266
3.4.2 Triasilgliserol (Trigliserida) .....	268
3.5. Fosfolipid.....	270
3.5.1 Lesitin.....	272
3.5.2 Sefalin.....	273
3.5.3 Plasmalogen .....	274
3.5.4 Sfingolipid .....	274
3.6. STEROL.....	276
Daftar Pustaka.....	278
Biodata Penulis .....	281

## BAB 1 AIR

Air merupakan komponen yang sangat penting bagi kehidupan, baik bagi hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Dalam kehidupan, air memiliki peran sebagai pembawa oksigen, zat pangan, limbah metabolisme serta sebagai media reaksi dalam proses metabolisme tubuh. Di dalam tanaman dan hewan, air terdapat di antara sel sebagai cairan interseuler dan air sel yang berada di dalam sel. Selain itu, dalam proses metabolisme manusia, air adalah pelarut utama dimana proses kehidupan ini terjadi.



Gambar 1. Air.  
(Sumber: integrasi.science)

Air berlimpah di semua makhluk hidup, sehingga air terdapat di hampir semua bahan pangan. Pada kebanyakan bahan dan produk

pangan ( nabati dan hewani) komposisi terbesarnya adalah air, kecuali beberapa bahan dalam bentuk kristal yang hanya mengandung sedikit air, misalnya gula dan garam, dimana airnya hanya terabsorpsi pada permukaan kristal. Sayuran hijau mengandung minimal 90% air. Dapat dikatakan hampir semua bahan pangan, termasuk bahan pangan yang paling kering sekalipun seperti tepung, buah yang dikeringkan dan sereal, pasti mengandung air di dalamnya walaupun dengan jumlah yang sangat kecil.

Dalam bahan pangan, air berpengaruh pada kenampakan, tekstur, rasa, kesegaran, dan umur simpannya. Tetapi, kadar air dari beberapa bahan dan produk pangan yang umum menunjukkan bahwa banyaknya air dalam suatu bahan tidak ditentukan dari keadaan fisik bahan tersebut. Kandungan air berbagai bahan makanan tidak sama, sehingga kaitannya dengan sifat-sifat tersebut juga berbeda. Di dalam sel kebanyakan senyawa dan reaksi biokimia berada dalam lingkungan air. Air penting dalam reaksi biokimia dan menentukan sifat-sifat makromolekuler bahan pangan misalnya protein.

Air sangat mempengaruhi tekstur makanan, seperti yang bisa dilihat ketika membandingkan tekstur dari anggur dan kismis (anggur kering), atau selada yang masih segar dan sudah layu. Untuk beberapa produk pangan seperti keripik kentang, garam, atau gula, kadar air yang rendah adalah aspek penting dari kualitasnya dan menjaga kadar air tetap rendah.

Air dalam bahan pangan dapat menunjukkan kesegaran, jika kekurangan air maka buah-buahan maupun sayuran akan terlihat layu. Sifat air adalah sebagai media pelarut dari bahan pangan hewani maupun nabati pada pigmen, vitamin, mineral, dan garam yang larut dalam air, serta senyawa cita rasa lainnya.

Air memiliki fungsi penting lainnya dalam bahan pangan, yaitu sebagai media interaksi antara air, protein, karbohidrat dan lipid serta terkait dengan umur simpannya dimana air merupakan media reaksi kimia, biokimia serta media pertumbuhan mikroba dalam bahan

pangan. Air dalam bahan pangan hewani dan nabati merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas metabolisme, baik aktivitas metabolisme, aktivitas enzim, mikroba dan sifat kimia ini dapat menimbulkan ketengikan dan reaksi-reaksi non-enzimatis sehingga menimbulkan perubahan sifat-sifat organoleptik seperti warna, rasa, aroma, kenampakan dan tekstur.

Hampir semua proses pengolahan makanan melibatkan penggunaan air atau modifikasi air dalam beberapa bentuk, yaitu proses pembekuan, pengeringan, emulsifikasi, pembuatan roti, pengentalan pati, dan pembuatan gel pektin. Karena bakteri tidak dapat tumbuh tanpa air, kandungan airnya memiliki efek yang signifikan pada menjaga kualitas makanan. Hal ini menjelaskan mengapa pembekuan, dehidrasi, atau konsentrasi produk pangan akan meningkatkan umur simpan dan menghambat pertumbuhan bakteri.

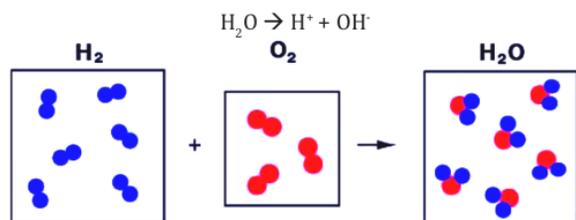
Air berperan penting sebagai media pelarut atau pendispersi, melarutkan molekul-molekul kecil untuk membentuk larutan "sejati" dan mendispersikan molekul-molekul besar untuk membentuk larutan koloid. Asam dan basa terionisasi dalam air juga diperlukan untuk katalisasi enzim dan terjadinya reaksi kimia, termasuk hidrolisis senyawa seperti gula. Air juga berperan penting sebagai media pemanasan dan pendinginan. Penting untuk mengenal beberapa sifat uniknya, karena air memiliki begitu banyak fungsi yang penting dalam bidang pangan. Saat memodifikasi kadar air pada bahan dan produk pangan, perlu untuk memahami fungsi-fungsinya sehingga dapat memprediksi perubahan yang mungkin terjadi selama pemrosesan makanan tersebut.

## 1.1 Kimia Air

Air adalah suatu zat organik yang terdiri dari dua buah atom hidrogen yang berikatan kovalen dengan sebuah atom oksigen, dengan rumus molekul  $H_2O$ . Air mengandung ikatan kovalen yang kuat. me-

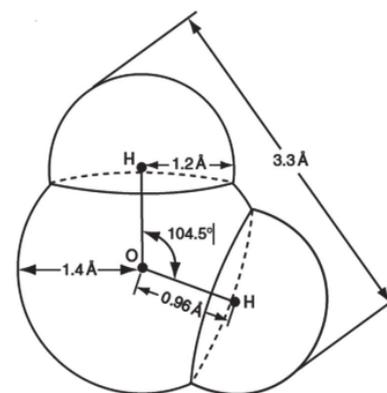
nyatukan dua atom hidrogen dan satu atom oksigen. Molekul air mengandung dua atom H yang berikatan dengan satu atom O melalui dua ikatan kovalen, yang masing-masing mempunyai energi sebesar 110,2 kkal/mol. Ikatan kovalen tersebut memiliki pengaruh yang sangat penting terhadap peranan air sebagai pelarut.

Dua jenis ion di dalam air adalah ion yang dihasilkan molekul yang memisahkan diri dan diidentifikasi dalam bentuk paling sederhana sebagai ion hidrogen  $H^+$  dan ion hidroksil  $OH^-$ , meskipun pada kenyataannya ion tersebut terdapat dalam bentuk terhidrasi. Dalam air murni, ion-ion ini terdapat dalam jumlah yang sama karena ion-ion tersebut muncul dari proses disosiasi.



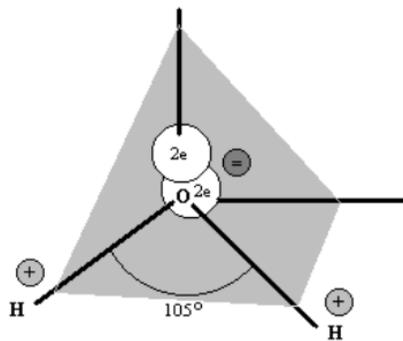
Gambar 2. Pembentukan Molekul Air.

Enam elektron valensi oksigen dalam molekul air diseragamkan menjadi empat orbital  $sp^3$  yang memanjang hingga sudut-sudut tetrahedron imajiner yang agak cacat. Struktur tiga dimensi dari molekul air mirip dengan tetrahedral, dimana struktur ini dikenal sebagai tetrahedron yang mempunyai sudut lebih kecil dibandingkan tetrahedral.



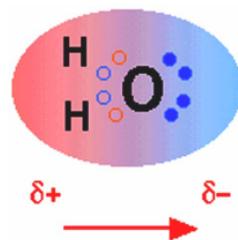
Gambar 3. Molekul Air.  
(Sumber: Reid dan Fennema, 2007)

Pada struktur tiga dimensi ini, oksigen berada di pusatnya. Sedangkan hidrogen berada pada dua sudutnya. Antara kedua atom H tersebut membentuk sudut  $104,5^\circ$ , sedangkan sudut tetrahedral sebenarnya adalah  $109,5^\circ$ . Oleh karena itu, tetrahedral pada air agak miring atau condong. Akibatnya elektron-elektron dalam molekul air tidak menyebar secara merata. Ikatan antara oksigen dan setiap atom hidrogen adalah ikatan polar yang memiliki karakter ion parsial 40%, maka elektron kulit terluar tidak terbagi secara merata antara atom oksigen dan hidrogen. Atom oksigen menariknya lebih kuat dibandingkan masing-masing atom hidrogen. Akibatnya, setiap atom hidrogen sedikit bermuatan positif dan masing-masing atom oksigen sedikit bermuatan negatif.



Gambar 4. Struktur Tetrahedron Air.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Molekul  $H_2O$  secara elektrik bersifat netral, tetapi muatan positif dan negatif tidak didistribusikan secara seragam yang terlihat oleh gradasi warna (gambar 2). Muatan negatif terkonsentrasi pada ujung molekul oksigen, sebagian disebabkan oleh elektron-elektron yang tidak terikat (lingkaran biru padat), dan pada oksigen dengan muatan nuklear tinggi yang mengerahkan daya tarik yang lebih kuat pada elektron. Perpindahan muatan ini merupakan dipol listrik, diwakili oleh panah di bagian bawah.



Gambar 5. Molekul Air memiliki Kutub Positif dan Negatif.  
(Sumber: chem1.com)

Akibat perbedaan elektronegativitas antara hidrogen dan oksigen ini, sisi hidrogen pada molekul air bermuatan positif sedangkan sisi oksigen bermuatan negatif. Sebuah molekul air yang memiliki kutub-kutub positif dan negatif secara permanen menjadi dwikutub (dipolar), seperti halnya sebatang magnet yang mempunyai kutub berbeda pada kedua ujungnya. Oleh karena itu, molekul air dapat ditarik oleh senyawa lain yang bermuatan positif atau yang bermuatan negatif.

Adanya daya tarik menarik di antara kutub positif sebuah molekul air dengan kutub negatif molekul air lainnya (momen dipol) akan mendorong terjadinya penggabungan molekul-molekul air sehingga berikatan satu sama lain melalui ikatan hidrogen dan sulit untuk dipisahkan. Ikatan hidrogen adalah ikatan lemah antara senyawa polar, dimana atom hidrogen dari satu molekul tertarik ke atom elektronegatif dari molekul lain. Ikatan hidrogen antar molekul air ini sangat lemah dibandingkan ikatan kovalen antara hidrogen dan oksigen dalam molekul air. Meskipun demikian ikatan kovalen memiliki peranan penting pada sifat air dimana air dapat mengalir.



Gambar 6. Ikatan Hidrogen dari Beberapa Molekul Air pada Konfigurasi Tetrahedral.  
(Sumber: Reid dan Fennema, 2007)

2 Molekul air yang satu dengan molekul air yang lain akan bergabung dengan ikatan hidrogen antara atom H dengan atom O dari molekul air yang lain. Karena bentuk V-nya, setiap molekul air dapat membentuk hingga empat ikatan hidrogen dengan “tetangga” terdekatnya.

6 Kemampuan molekul air membentuk ikatan hidrogen menyebabkan air mempunyai sifat-sifat yang unik. Ikatan hidrogen yang terjadi antara molekul-molekul yang berdampingan mengakibatkan air pada tekanan atmosfer bersifat mengalir pada suhu 0°C -100°C. Kelompok-kelompok kecil molekul air bergabung dengan suatu pola tertentu, tapi kelompok-kelompok tersebut bergerak bebas dan menyebabkan terjadinya pertukaran ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen ini tidak hanya mengikat molekul-molekul air satu sama lain, tetapi juga menyebabkan pembentukan hidrat antara air dengan senyawa-senyawa lain yang mempunyai kutub O atau N seperti senyawa metanol atau karbohidrat yang mempunyai gugus hidroksil.

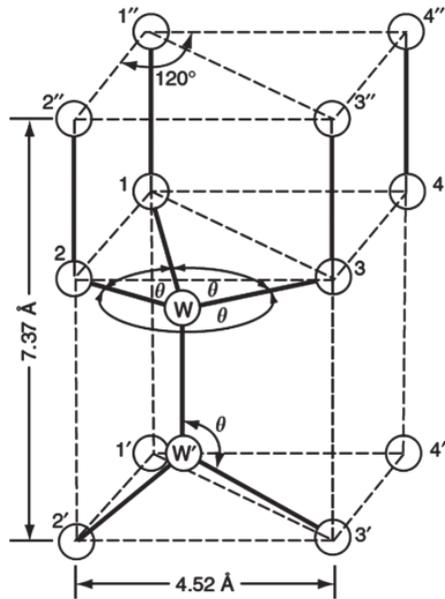
Setiap atom hidrogen dapat membentuk satu ikatan hidrogen, sedangkan atom oksigen dapat membentuk dua yang menghasilkan kisi tiga dimensi dalam es. Struktur es (air beku) sangat dinamis, ikatan hidrogen terus-menerus pecah dan berubah bentuk di antara molekul air yang berbeda. Air (cair) juga mengandung ikatan hidrogen sehingga memiliki beragam struktur teratur yang terus berubah ketika ikatan hidrogen pecah dan terbentuk kembali. Diperkirakan sekitar 80% molekul air terlibat dalam ikatan hidrogen pada suatu waktu pada suhu 100 °C, sedangkan 90% terlibat pada suhu 0° C.

Air seharusnya berbentuk gas pada suhu ruang jika dibandingkan dengan senyawa lainnya yang sama dalam posisinya sebagai senyawa dalam tabel periodik. Namun karena banyaknya ikatan hidrogen yang terkandung di dalamnya, air berbentuk cair pada suhu ruang. 2 Kemampuan molekul air membentuk ikatan hidrogen menyebabkan air mempunyai sifat-sifat yang unik. Ikatan hidrogen yang terjadi antara molekul-molekul yang berdampingan mengakibatkan air pada tekanan atmosfer bersifat cair pada suhu 0°C -100°C.

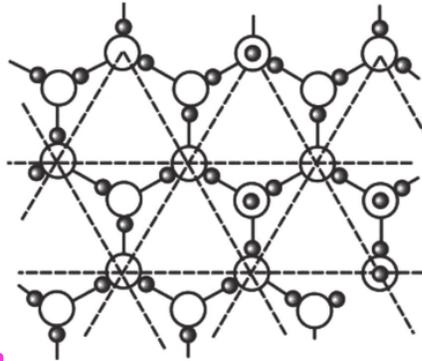
Kelompok-kelompok kecil molekul air bergabung dengan suatu pola tertentu, tetapi kelompok-kelompok tersebut bergerak bebas dan menyebabkan terjadinya pertukaran ion hidrogen. Ikatan hidrogen ini tidak hanya mengikat molekul air satu dengan molekul air lainnya, tetapi dapat juga menyebabkan pembentukan hidrat antara air dengan senyawa-senyawa lain yang mempunyai kutub O atau N, seperti senyawa metanol atau karbohidrat yang mempunyai gugus OH. (hidroksil).

### 1.1.1 Air Menjadi Es

Es merupakan suatu senyawa yang terdiri dari molekul-molekul H<sub>2</sub>O (HOH) yang tersusun sedemikian rupa, mengkristal dalam struktur terbuka dan memiliki kepadatan yang rendah. Satu atom H terletak di satu sisi antara sepasang atom oksigen molekul air lainnya membentuk suatu bentuk heksagon simetris. Satu molekul HOH dapat mengikat 4 molekul HOH yang berdekatan dan jarak atom O-O yang berdampingan sebesar 2,76 Å dan sudut ikatan O-O-O sekitar 109°, mendekati sudut tetrahedral sempurna yaitu 109,28°.

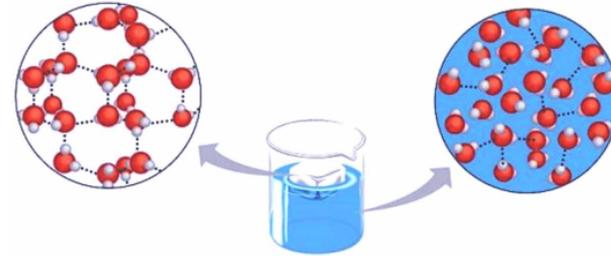


Gambar 7. Struktur Unit Es biasa pada suhu 0°C.  
(Sumber: Reid dan Fennema, 2007)



Gambar 8. Ikatan-ikatan Molekul Air Membentuk Heksagon dalam Es.  
(Sumber: Winarno, 1992)

6 Ruangan-ruangan dalam kristal es berbentuk sedemikian rupa sehingga membentuk saluran-saluran dalam jumlah yang sangat besar. Oleh karena itulah, es mempunyai volume lebih besar dari bentuk cairannya dan kerapatannya lebih kecil sehingga es mengapung dalam air.



Gambar 9. Kerapatan Air Lebih Besar daripada Es.

Empat ikatan hidrogen dari masing-masing titik atom O menuju keempat sudut tetrahedron berpusat pada atom H. Urutan ini berulang dalam tiga dimensi untuk membangun kristal es. Susunan molekul air dengan ikatan hidrogen yang stabil dalam es memunculkan bentuk heksagonal simetris yang indah di setiap kristal es.



Gambar 10. Kristal Air.

(Sumber: chem1.com)

Air (cair) dan es berbeda dalam jarak antara molekul, bilangan koordinasi dan urutan rentang waktu (durasi stabilitas). Es yang stabil terbentuk pada tekanan 0°C dan 1 atm (101.325 Pa). Es adalah salah satu dari sembilan struktur kristal polimorfik yang diketahui dan masing-masing stabil dalam kisaran suhu dan tekanan tertentu. Bilangan koordinasi dalam es adalah empat, jarak O-H...O (tetangga terdekat) adalah 0,276 nm (0°C) dan atom H antara oksigen yang berdekatan adalah 0,101 nm dari oksigen yang terikat secara kovalen dan 0,175 nm dari oksigen yang terikat oleh jembatan hidrogen. Lima molekul air membentuk tetrahedron, dikemas secara longgar dan disimpan bersama sebagian besar melalui ikatan hidrogen.

Tabel 1.  
Bilangan Koordinasi dan Jarak Antar 2 Molekul Air

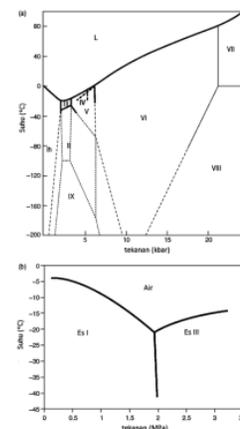
Jenis Air dan Suhu	Bilangan Koordinasi	Jarak O-H...O (nm)
Es (0 °C)	4	0,276
Air (1,5 °C)	4,4	0,290
Air (83 °C)	4,9	0,305

(Sumber: Belitz, et.al., 2009)

Ketika es mencair dan air yang dihasilkan dipanaskan, baik bilangan koordinasi dan jarak antara tetangga terdekat akan meningkat. Perubahan ini memiliki pengaruh yang berlawanan pada kepadatannya. Peningkatan bilangan koordinasi, misalnya jumlah molekul air yang disusun secara teratur di sekitar setiap molekul air, akan meningkatkan kerapatan. Sedangkan peningkatan jarak antara tetangga terdekat mengurangi kerapatan. Pengaruh peningkatan bilangan koordinasi dominan selama kenaikan suhu dari 0°C hingga 4 °C. Sebagai akibatnya, air memiliki sifat yang tidak biasa, yaitu densitasnya dalam keadaan cair pada suhu 0 °C (0,9998 gcm<sup>-3</sup>) lebih tinggi dibandingkan dalam keadaan padat (es,  $\rho = 0,9168 \text{ gcm}^{-3}$ ).

Air adalah cairan terstruktur dengan urutan jangka waktu pendek. Molekul air melalui ikatan hidrogen akan membentuk struktur poligonal berumur pendek yang terbelah dengan cepat dan kemudian dibangun kembali sehingga memberikan keseimbangan dinamis. Fluktuasi seperti itu menjelaskan viskositas air yang lebih rendah, yang sebaliknya tidak dapat dijelaskan jika ikatan hidrogennya kaku.

Gambar 11 (a) menunjukkan diagram fase untuk air murni. Terdapat hubungan antara garis kesetimbangan uap-cair dan juga ketergantungan tekanan dari bentuk es yang stabil. Terdapat beberapa bentuk es, dimana masing-masing es stabil di daerah tertentu dari diagram tekanan-suhu. Di bawah kondisi suhu dan tekanan yang digunakan dalam pengolahan pangan, satu-satunya fase es yang menarik adalah es I. Dengan meningkatnya tekanan pada es I, titik leleh es I akan menurun. Khususnya pada tekanan 270 Mpa, titik leleh es I berada di bawah suhu -20°C. Hal ini memungkinkan adanya teknik pembekuan dengan menggunakan pergeseran tekanan, dimana bahan didinginkan sampai suhu -20°C dengan tekanan tinggi.



Gambar 11. Diagram Fase Tekanan-Suhu untuk (a) Air Murni dan (b) Kondisi Air Cair, Es I, dan III.  
(Sumber: Reid dan Fennema, 2007)

### 1.1.2 Air menjadi Uap

Apabila suhu air meningkat, jumlah rata-rata molekul air dalam “kerumunan” molekul air akan menurun dan ikatan hidrogen akan putus, yang kemudian terbentuk lagi secara cepat. Bila air dipanaskan lebih tinggi lagi sehingga molekul-molekul air bergerak demikian cepat dan tekanan uap air melebihi tekanan atmosfer, maka beberapa molekul akan keluar dari permukaannya dan menjadi gas. Hal ini terjadi ketika air mendidih pada suhu 100°C pada permukaan laut dengan tekanan 760 mmHg. Dalam keadaan uap, molekul-molekul air menjadi lebih bebas satu sama lainnya.



Gambar 12. Air dalam Tiga wujudnya (Es, Air dan Uap)  
(Sumber: *mikirbae.com*)

## 1.2 Sifat Fisik Air

Air bersifat tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 101,3 kPa dan suhu 0°C. Air mempunyai sifat fisik yang unik dibandingkan dengan senyawa lain. Apabila air dibandingkan dengan senyawa lain yang mempunyai berat molekul hampir sama, ternyata air mempunyai titik cair paling tinggi, yaitu 0°C dan titik didihnya juga paling tinggi, yaitu 100°C, sehingga kisaran suhunya paling panjang, yaitu 0°C-100°C. Akibatnya air akan berada pada fase cair dalam berbagai macam suhu.

Tabel 2.  
Sifat Fisik Air.

Sifat Fisik	Nilai
Berat Molekul	18,0153
Titik Cair (pada tekanan 101,3 Pa)	0,00 °C
Titik Didih (pada tekanan 101,3 Pa)	100,00 °C
Suhu Kritis	373,99 °C
Tekanan Kritis	22,064 MPa

(Sumber: Reid dan Fennema, 2007)

Sebagai perbandingan, beberapa jenis senyawa mempunyai berat molekul yang hampir sama dengan air. Dengan membandingkan sifat-sifat air dan molekul lain yang memiliki berat molekul hampir sama, dimungkinkan untuk menentukan apakah air berperilaku dengan cara yang normal atau apakah perilakunya tidak biasa. Atas dasar perbandingan ini, air memiliki titik cair dan titik didih yang paling tinggi.

Tabel 3.

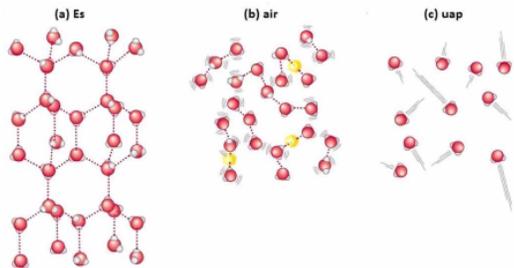
Sifat Fisik Beberapa Senyawa yang Mempunyai Berat Molekul Kecil.

Substansi	Berat Molekul	Titik Cair (°C)	Titik Didih (°C)
Metana (CH <sub>4</sub> )	16,04	-182,6	-161,4
Ammonia (NH <sub>3</sub> )	17,0	-77,7	-33,3
Air (H <sub>2</sub> O)	18,01	0	+100
Hidrogen Fluorida (HF)	20,01	-83,1	+19,5
Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	34,08	-86	-61
Hidrogen Klorida (HCl)	36,46	-115	-85
Oksigen (O <sub>2</sub> )	31,99	-218,79	-183
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	28,01	-210,00	-196

(Sumber: Reid dan Fennema, 2007; Apriyanto dan Rujiah, 2017)

2

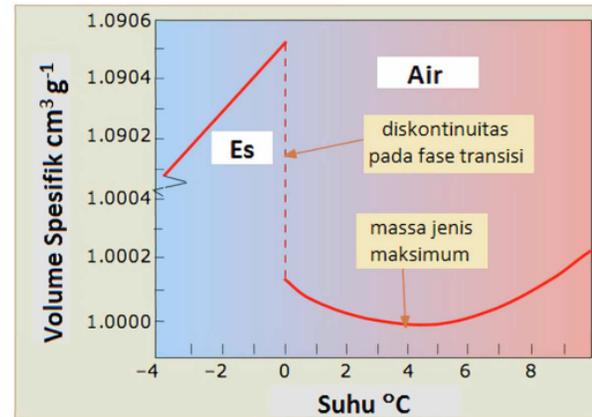
Pada keadaan normal, air tidak mempunyai rasa, warna, dan bau. Rasa, warna, dan bau air dipengaruhi oleh adanya zat-zat yang terlarut, seperti zat organik yang rusak, jasad renik dan hasil metabolisme, lumpur, hasil buangan industri, gas-gas yang terlarut. Bau yang tidak dikehendaki dapat pula timbul akibat adanya pertumbuhan ganggang, plankton, tumbuh-tumbuhan dan hewan lainnya yang hidup di dalam air.



Gambar 13. Struktur Molekul Air Cair, Es dan Uap.  
(Sumber : Sinauer Associate, 2001)

2

Pada keadaan suhu normal, air berada dalam fase cair. Namun, pada keadaan tertentu air terdapat dalam tiga bentuk keseimbangan, yaitu cair, padat-uap. Air mempunyai sifat fisik yang unik karena pembekuan air terjadi mulai dari atas. Hal ini disebabkan pada waktu air menjadi dingin, kerapatan air menjadi lebih kecil dibandingkan dalam keadaan panas. Akibatnya, air yang lebih dingin atau yang sudah membeku akan mengapung ke bagian atas. Volume air mengalami penyusutan apabila didinginkan. Penyusutan air tersebut hanya berlangsung sampai suhu 4°C, kemudian akan mengembang lagi sampai suhu 0°C (titik beku air). Pada penurunan suhu selanjutnya, volume es akan tetap. Hal ini disebabkan oleh adanya pembentukan agregat berikatan hidrogen yang lebih besar. Diatas suhu 4°C, terjadi pengembangan karena adanya getaran ikatan O-H yang menjadi lebih kuat dan cenderung mendorong molekul menjadi lebih jauh.



Gambar 14. Diagram Suhu dan Volume yang Menunjukkan Bagaimana Volume Air Bervariasi dengan Suhu yang Berbeda.  
(Sumber: chem1.com)

2

Semua zat padat akan menyusut jika semakin dingin. Ketika suhunya menurun, zat cair ini kehilangan volume. Ketika volume berkurang, kerapatan meningkat sehingga bagian yang lebih dingin dari zat cair itu menjadi lebih berat. Itulah sebabnya volume bentuk padat suatu zat lebih besar daripada bentuk cairnya. Volume air menyusut ketika suhunya turun, namun ini berlaku hanya sampai pada suhu tertentu (4°C). Sebagai akibatnya, "air padat" lebih ringan daripada "air cair". Menurut hukum fisika normal, air padat, yang disebut es, seharusnya lebih berat dibandingkan air dalam bentuk cair, dan seharusnya tenggelam ketika menjadi es. Namun ternyata es mengapung.

Tabel 4.  
Sifat Fisik Air pada Suhu yang Berbeda.

Sifat Fisik Air	Suhu					
	0	20	40	60	80	100
Tekanan uap (mm Hg)	4,58	17,53	55,32	149,4	155,2	760,0
Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )	0,9988	0,9982	0,9922	0,9832	0,9718	0,9583
Panas jenis (kal/g°C)	1,0074	0,9988	0,9980	0,9994	1,0023	1,0070
Panas penguapan (kal/g)	597,2	586,0	574,7	563,3	551,3	538,9
Daya hantar panas (Kkal/m <sup>2</sup> /atm°C)	0,486	0,515	0,540	0,561	0,576	0,585
Tegangan permukaan (dyne/cm)	75,62	72,75	69,55	66,17	62,60	58,84
Kekentalan (centipoise)	1,792	1,002	0,653	0,466	0,335	0,282
Angka bias	1,338	1,3330	1,33306	1,3272	1,3230	1,3180
Tetapan dielektrik	88,0	90,4	73,3	66,7	60,8	55,3
Koefisien muai panas	∓	2,07	3,87	5,38	6,57	∓
$\times 10^{-4}$						

(Sumber: DeMann, 1980)

Konduktivitas termal air lebih besar dibandingkan dengan kebanyakan cairan lainnya dan konduktivitas termal es lebih besar dari yang diharapkan untuk padatan bukan logam. Konduktivitas termal es pada suhu 0°C kira-kira empat kali lipat dari air (cair) pada suhu yang sama, menunjukkan bahwa es akan menghantarkan energi panas pada tingkat yang jauh lebih besar daripada air yang akan diimobilisasi, misalnya pada jaringan.

Difusivitas termal air dan es berbeda sekitar 9 (sembilan) kalinya, karena kapasitas panas air kira-kira dua kali lipat dari es. Difusivitas termal menunjukkan tingkat dimana suatu bahan akan mengalami perubahan suhu, sangat diharapkan es dalam lingkungan termal tertentu akan mengalami perubahan suhu pada kecepatan 9 kali lebih besar dari pada air dalam bentuk cair. Perbedaan dalam konduktivitas termal dan nilai difusivitas untuk air dan es memberikan dasar yang baik untuk memahami mengapa jaringan membeku lebih cepat dibandingkan mencair di bawah perbedaan suhu yang diterapkan secara simetris.

Ketika es dipanaskan, suhu meningkat sebanding dengan jumlah panas yang diberikan. Panas spesifik air adalah energi (dalam kalori atau dalam joule) yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1g air sampai suhu 1°C dan kondisinya sama dalam memanaskan air atau es. Hal itu relatif tinggi dibandingkan dengan zat lain, karena terdapat ikatan hidrogen. Panas spesifik air adalah 1 kal/g/°C, maka diperlukan 100 kalori untuk menaikkan suhu 1g air dari 0 hingga 100 °C.

Es memiliki titik leleh dan titik didih tinggi, panas laten tinggi untuk menguapkan molekul air. Es juga memiliki berat jenis rendah, tetapan dielektrik lebih tinggi, konduktivitas proton dan mobilitas yang lebih rendah dari pada air dalam bentuk cairan. Sifat-sifat spesifik inilah sebagai penyebab ikatan antar molekul air pada es yang lebih kuat dari pada ikatan antar molekul air dalam larutan.

### 1.3 Larutan

Larutan merupakan campuran homogen yang terdiri dari dua substansi atau lebih dimana bagian terlarutnya berupa ion atau molekul. Larutan terdiri dari *solvent* atau zat pelarut dan *solute* atau zat terlarut. Pada umumnya bagian larutan yang berjumlah banyak disebut pelarut dan yang berjumlah sedikit disebut terlarut.

Air merupakan pelarut yang kuat dan dapat melarutkan banyak zat kimia. Zat-zat yang larut dengan baik dalam air seperti garam-garam disebut sebagai zat-zat hidrofilik sedangkan zat-zat yang tidak mudah larut dalam air seperti lemak dan minyak disebut sebagai zat-zat hidrofobik. Air merupakan senyawa polar yang hanya akan melarutkan senyawa yang polar. Air dapat melarutkan berbagai bahan seperti garam, vitamin yang larut air, mineral, dan senyawa-senyawa cita rasa seperti yang terkandung dalam teh dan kopi.

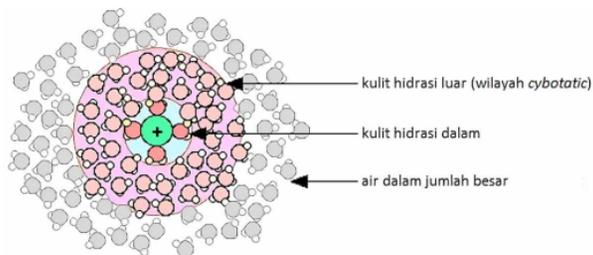
Pencampuran antara zat terlarut dan air menghasilkan perubahan sifat kedua konstituen dibandingkan dengan sifat masing-masing konstituen ketika tidak tercampur. Perubahan-perubahan ini dihasilkan dari interaksi molekul dan tergantung pada sifat zat terlarut.

### 1.3.1 Jenis Larutan Berdasarkan Bentuknya

Berdasarkan bentuknya, larutan dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu larutan ionik dan larutan molekuler.

#### 1.3.1.1 Larutan Ionik

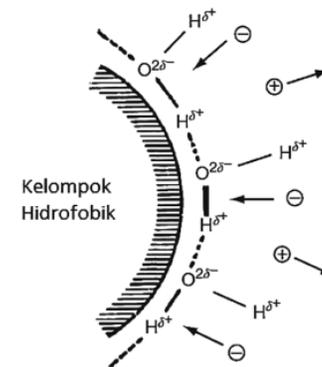
Larutan ionik terbentuk apabila zat terlarut terdispersi ke dalam zat pelarut dalam bentuk ion. Molekul air berinteraksi kuat dengan ion, yang merupakan atom atau molekul bermuatan listrik. Ion atau kelompok senyawa bermuatan dapat berinteraksi dengan air dengan adanya gaya elektrostatis. Hal ini dapat meningkatkan atau mengganggu orientasi geometris normal dari molekul air. Sebagian besar zat terlarut hidrofilik berinteraksi kuat dengan air dan menyebabkan perubahan dalam asosiasi struktural dan mobilitas air yang berdekatan. Pada saat yang sama air mengubah reaktivitas dan kadang-kadang juga struktur dari zat terlarut hidrofilik.



Gambar 15. Interaksi Air dengan Ion Molekul.

(Sumber: chem1.com)

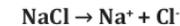
Hal ini tidak berlaku pada zat terlarut hidrofobik. Sebaliknya, kelompok zat terlarut hidrofobik hanya berinteraksi lemah dengan air yang berdekatan dan tampaknya lebih menyukai lingkungan yang tidak berair.



Gambar 16. Interaksi Air dengan Zat Hidrofobik.

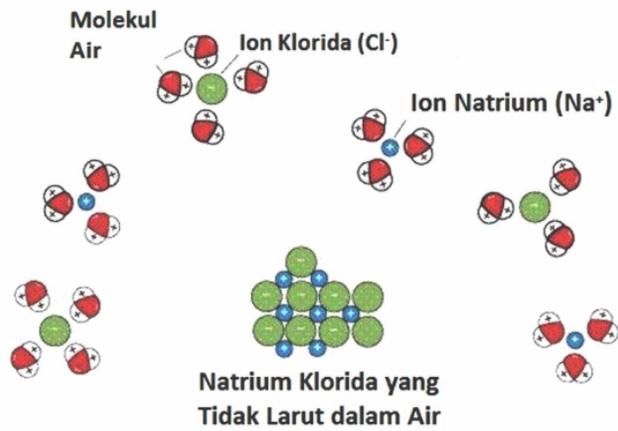
(Sumber: Reid dan Fennema, 2007)

Pelarutan garam (NaCl) dalam air akan menghasilkan larutan yang mengandung ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ .



Karena polaritasnya yang tinggi, molekul  $\text{H}_2\text{O}$  yang paling dekat dengan ion terlarut akan sangat melekat pada ion tersebut dan membentuk apa yang dikenal sebagai kulit hidrasi dalam atau primer. Molekul air dapat mengurangi daya tarik menarik antara ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  sedemikian rupa sehingga tinggal 1% saja dari daya tarik yang terdapat dalam kristal NaCl.

Ion bermuatan positif seperti  $\text{Na}^+$  akan menarik ujung negatif dari molekul  $\text{H}_2\text{O}$  yang berupa oksigen. Terbentuk struktur yang disusun di dalam cangkang primer dengan adanya ikatan hidrogen di suatu wilayah dimana air di sekitarnya agak tersusun. Struktur ini disebut dengan kulit hidrasi luar, atau wilayah *cybotactic*.



Gambar 17. Air sebagai Pelarut NaCl.

### 1.3.1.2 Larutan Molekuler

Larutan molekuler terbentuk apabila *solute* terdispersi (tersebar) ke dalam *solvent* dalam bentuk molekul. Molekul-molekul berbagai senyawa dalam makanan terikat satu sama lain melalui ikatan hidrogen. Contohnya yaitu molekul gula. Bila sebuah kristal gula terlarut, molekul-molekul air akan bergabung secara ikatan hidrogen pada gugus polar molekul gula yang terdapat di permukaan air kristal gula tersebut. Molekul-molekul air yang mula-mula terikat pada lapisan pertama ternyata tidak dapat bergerak, tetapi selanjutnya molekul-molekul gula akhirnya dikelilingi oleh lapisan air dan melepaskan diri dari kristal.

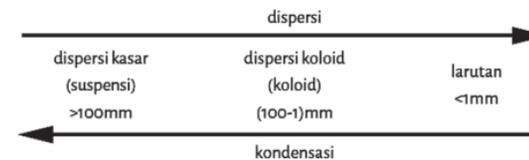
Pemanasan air dapat mengurangi daya tarik menarik antara molekul—molekul air dan memberikan cukup energi kepada molekul—molekul air tersebut sehingga dapat mengatasi daya tarik-menarik antar molekul pada gula. Oleh karena itu, data kelarutan pada bahan yang melibatkan ikatan hidrogen seperti pada gula akan meningkat dengan adanya peningkatan suhu, sehingga gula lebih mudah larut dalam air panas daripada dalam air dingin.

## 1.3.2 Larutan Berdasarkan Ukuran Zat Terlarut

Berdasarkan ukuran dari zat terlarutnya, larutan dapat dibedakan menjadi 3, yaitu: larutan, koloid dan suspensi.

### 1.3.2.1 Larutan

Partikel-partikel terdispersi yang ukurannya kurang dari 1 mm akan membentuk larutan. Kelarutan suatu bahan akan menurun apabila terjadi agregasi antar molekul-molekul atau ion-ion dalam larutan. Adanya agregasi akan memperbesar ukuran partikel, hingga pada ukuran tertentu (>1 mm) partikel tersebut tidak melarut lagi. Contohnya pada proses denaturasi protein oleh panas pada protein terlarut yang disebut proses kondensasi. Sebaliknya partikel yang besar dapat dipecah menjadi partikel lebih kecil melalui cara mekanis, elektronis, atau kimiawi. Misalnya pada koagulasi albumin telur melalui perlakuan kimiawi dengan penambahan pepsin pada putih telur akan membentuk larutan koloid yang disebut proses peptisasi.



Gambar 18. Hubungan Antara Larutan, Koloid dan Suspensi.

(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

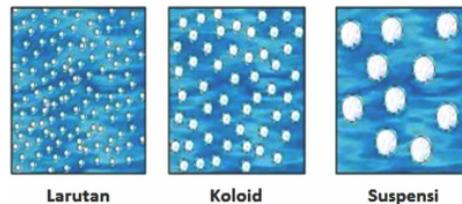
### 1.3.2.2 Koloid

Beberapa partikel dalam makanan tidak dapat membentuk suatu larutan, tetapi hanya terdispersi dalam air. Kelompok senyawa tersebut membentuk dispersi koloid. Dalam bentuk dispersi koloid, partikel-partikel yang ada dalam air bentuknya tidak begitu besar sehingga tidak dapat mengendap, tetapi juga tidak cukup kecil untuk dapat membentuk larutan.

Protein biasanya termasuk senyawa yang membentuk koloid. Contoh yang paling umum adalah gelatin. Gelatin merupakan suatu protein yang bila ditambahkan air panas akan membentuk koloid. Berbagai jenis koloid bersifat tidak stabil karena ukurannya besar. Selain itu proses penggumpalan pada susu pun membentuk koloid yang terjadi akibat adanya ketidakstabilan kasein.

### 1.3.2.3 Suspensi

Suspensi merupakan suatu jenis dispersi. Suspensi terbentuk bila suatu partikel tidak cukup kecil untuk larut dalam air atau partikelnya berupa senyawa kompleks sehingga tidak dapat membentuk koloid, maka akan membentuk suatu suspensi. Contoh suspensi antara lain pati dalam air dingin. Bila pati jagung digunakan untuk mengentalkan puding, pati tersebut disuspensikan dalam cairan dingin dan suspensinya diaduk dan dipanaskan sampai pati “membengkak” sehingga tetap dalam puding.



Gambar 19. Perbedaan Larutan, Koloid dan Suspensi.  
(Sumber: *colloids.weebly.com*)

## 1.4 Jenis-jenis Air dalam Bahan Pangan

Sebagian besar makanan alami mengandung air hingga 70% dari beratnya atau lebih, kecuali mengalami dehidrasi. Buah-buahan serta sayuran mengandung air hingga 95% atau lebih. Air yang dapat diekstraksi dengan mudah dari makanan dengan memeras, memotong atau menekan dikenal sebagai air bebas. Sedangkan air yang tidak dapat

diekstraksi dengan mudah disebut air terikat. Air dalam bahan pangan terdapat di antara sel-sel maupun di dalam sel. Air bebas terdapat di dalam jaringan, sedangkan air terikat biasanya di dalam sel. Terdapat banyak konsep tentang jenis-jenis air yang terdapat dalam bahan pangan. Secara konvensional, air dalam bahan pangan dapat dibagi ke dalam empat jenis, yaitu air terikat, air bebas, air kristal dan air imbibisi.

### 1.4.1 Air Terikat

Air terikat (*bound water*) merupakan interaksi air dengan solid atau bahan pangan. Definisi air terikat adalah sejumlah air yang berinteraksi secara kuat dengan *solute* yang bersifat hidrofilik. Air dalam bahan pangan terikat secara kuat pada sisi-sisi kimia komponen bahan/produk pangan, misalnya grup hidroksil dari polisakarida, grup karbonil dan amino dari protein dan sisi polar lain yang dapat memegang air dengan ikatan hidrogen.

Air terikat didefinisikan berdasarkan cara pengukurannya. Metode pengukuran yang berbeda memberikan nilai yang berbeda untuk air terikat dalam makanan tertentu. Banyak bahan makanan yang dapat mengikat atau menahan molekul air, sehingga tidak dapat dilepaskan dengan mudah dan tidak berperilaku seperti cairan.

Beberapa karakteristik air terikat ini meliputi:

- Tidak bebas bertindak sebagai pelarut garam dan gula.
- Dapat dibekukan hanya pada suhu yang sangat rendah (di bawah titik beku air).
- Pada dasarnya tidak menunjukkan tekanan uap.
- Kepadatannya lebih besar dibandingkan air bebas.

Air terikat memiliki ikatan struktural yang lebih banyak dibandingkan dengan air bebas. Dengan demikian tidak dapat bertindak sebagai pelarut, karena tekanan uap dapat diabaikan, molekul tidak dapat lepas sebagai uap, dan molekul dalam air terikat lebih rapat

dibandingkan dalam keadaan cair sehingga densitasnya lebih besar. Contoh air yang terikat adalah air yang ada dalam kaktus atau pohon pinus, dimana air tidak dapat diperas atau ditekan. Panas gurun yang ekstrim atau es salju pada musim dingin tidak berdampak negatif pada air yang terikat pada tanaman. Bahkan setelah dehidrasi, makanan mengandung air yang terikat. Molekul air terikat pada gugus kutub atau ionik pada molekul seperti pati, pektin, dan protein. Air yang paling dekat komponen dapat ditahan keluar.

Air juga dapat terperangkap dalam makanan seperti gel pektin, buah-buahan, sayuran, dan sebagainya. Air yang terperangkap tidak dapat bergerak di dalam kapiler atau sel, tetapi jika dilepaskan selama pemotongan atau kerusakan, maka air mengalir dengan bebas. Air yang terperangkap memiliki sifat air bebas dan tidak memiliki sifat air terikat

Air terikat merupakan kadar air kesetimbangan dalam bahan pangan dalam suhu yang sesuai dan kelembaban yang rendah. Air jenis ini tidak bisa dibekukan pada suhu  $-40^{\circ}\text{C}$  atau lebih rendah dan tidak bisa dijadikan sebagai pelarut untuk zat terlarut tambahan. Air terikat dalam bahan pangan terdapat dalam dua bentuk, yaitu:

1. Air terikat secara lemah

Air jenis ini teradsorpsi pada permukaan koloid makromolekuler seperti protein, pektin, pati dan selulosa. Selain itu, air ini juga terdispersi diantara koloid tersebut dan merupakan pelarut zat-zat yang ada di dalam sel. Air yang terdapat dalam bentuk ini masih tetap mempunyai sifat air bebas dan dapat dikristalkan pada proses pembekuan. Ikatan antara air bebas dengan koloid tersebut merupakan ikatan hidrogen.

2. Air yang terikat secara kuat

Air yang terikat secara kuat membentuk hidrat. Ikatannya bersifat ionik sehingga relatif sukar dihilangkan atau diuapkan. Air ini tidak membeku meskipun pada suhu  $0^{\circ}\text{F}$  ( $-17,78^{\circ}\text{C}$ ). Air yang terdapat dalam bentuk bebas dapat membantu terjadinya proses kerusakan bahan makanan misalnya proses

mikrobiologis, kimiawi, ensimatik, bahkan oleh aktivitas serangga perusak.

Air yang terperangkap secara fisik tidak mudah mengalir dari jaringan bahkan ketika bahan pangan dipotong atau dirajang. Air jenis ini memiliki sifat yang mirip dengan air bebas selama proses pengolahan bahan pangan. Air ini mudah dihilangkan selama pengeringan, mudah diubah menjadi es selama pembekuan, dan tersedia sebagai pelarut. Meskipun alirannya sangat terbatas, pergerakan molekul individu pada dasarnya mirip dengan molekul air dalam larutan garam encer.

Istilah air yang terdapat bahan pangan yang umumnya dipakai adalah "air terikat" (*bound water*). Walaupun sebenarnya istilah ini kurang tepat, karena keterikatan air dalam bahan berbeda-beda, bahkan ada yang tidak terikat. Karena itu, istilah "air terikat" ini dianggap suatu sistem yang mempunyai derajat keterikatan berbeda-beda dalam bahan.

Berdasarkan derajat keterikatan air dalam bahan pangan, molekul air dibagi atas 4 tipe, yaitu:

1. Tipe I

Air terikat tipe I merupakan molekul air yang terikat secara kimia dengan molekul-molekul lain melalui ikatan hidrogen yang berenergi besar. Air tipe ini memiliki derajat pengikatan air yang sangat besar sehingga tidak dapat membeku pada proses pembekuan, tetapi sebagian air jenis ini dapat dihilangkan dari bahan pangan dengan cara pengeringan biasa. Molekul air ini membentuk hidrat dengan molekul-molekul lain yang mengandung atom-atom oksigen dan nitrogen, seperti karbohidrat, protein dan garam. Air tipe ini terikat kuat dan sering kali disebut air terikat dalam arti sebenarnya.

2. Tipe II

Air terikat tipe II merupakan molekul air yang terikat secara kimia membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air

lainnya. Air tipe ini terdapat dalam mikrokapiler dan sifatnya agak berbeda dari air murni. Air jenis ini lebih sukar dihilangkan dari bahan pangan dan penghilangan air tipe ini akan mengakibatkan penurunan  $A_w$  dan menyebabkan pertumbuhan mikroba dan reaksi-reaksi kimia yang bersifat merusak bahan pangan seperti reaksi *browning*, hidrolisis atau oksidasi lemak akan berkurang. Jika air tipe ini dihilangkan seluruhnya maka kadar air bahan pangan akan berkisar antara 3%-7% dan kestabilan optimum bahan makanan akan tercapai, kecuali pada produk-produk yang dapat mengalami oksidasi akibat adanya kandungan lemak tidak jenuh.

### 3. Tipe III

Air terikat tipe III merupakan molekul air yang terikat secara fisik dalam jaringan-jaringan matriks bahan seperti membran, kapiler, serat, dan lain-lain. Air tipe ini sering kali disebut dengan air bebas karena mudah diuapkan dari bahan pangan. Apabila air tipe ini diuapkan seluruhnya, kadar air bahan pangan akan berkisar 12%-25% dengan  $A_w$  kira-kira 0,8 tergantung dari jenis bahan pangan dan suhu. Air tipe ini dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroorganisme dan media bagi reaksi-reaksi kimia.

### 4. Tipe IV

Air terikat tipe IV merupakan air bebas yang tidak terikat dalam jaringan suatu bahan atau air murni dengan sifat-sifat air biasa dan keaktifan penuh.

## 1.4.2 Air Bebas

Air bebas terdapat di bagian permukaan bahan atau benda padat, di antara ruang-ruang antar sel dan inter-granular serta pori-pori yang terdapat pada permukaan bahan pangan, sehingga dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya serta dapat dijadikan

sebagai media reaksi-reaksi kimia. Air bebas dapat dengan mudah hilang apabila terjadi penguapan atau pengeringan.

Air yang terdapat dalam bentuk bebas dapat membantu terjadinya proses kerusakan bahan makanan misalnya proses mikrobiologi, kimiawi, enzimatik, bahkan oleh aktivitas serangga perusak. Jumlah air bebas dalam bahan pangan yang dapat digunakan oleh mikroorganisme dinyatakan dalam besaran aktivitas air ( $A_w = \text{water activity}$ ). Mikroorganisme memerlukan kecukupan air untuk tumbuh dan berkembang biak. Seperti halnya pH, mikroba mempunyai nilai  $A_w$  minimum, maksimum dan optimum untuk tumbuh dan berkembang biak.

## 1.4.3 Air Kristal

Air kristal merupakan air yang terikat dalam semua bahan, baik dalam bahan pangan maupun non pangan dan terdapat dalam bentuk kristal (hidrat) yang dibentuk oleh garam-garam mineral pada bahan makanan, serta terikat sebagai molekul-molekul dalam bentuk  $H_2O$ . Pembentukan air kristal sering dijumpai pada eksikator pengeringan. Contoh dari air kristal (hidrat) yaitu air dalam pati, protein dan senyawa-senyawa garam organik, gula,  $CuSO_4$ , dan lain-lain.



Gambar 20. Kristal Garam.  
(Sumber: *thought.com*)

Air kristal atau air hidrasi adalah air yang terdapat di dalam kristal. Air sering kali diperlukan dalam pembentukan kristal. Dalam beberapa konteks, air kristal adalah berat total air dalam suatu senyawa pada temperatur tertentu dan berada pada rasio stoikiometri tertentu. Menurut pandangan klasik, "air kristal" merujuk pada air yang ditemukan dalam susunan kristal kompleks logam atau garam, tetapi tidak berikatan langsung dengan kation logam. Selama proses kristalisasi dari pelarut air atau uap, kebanyakan senyawa menarik molekul air dalam struktur kristalnya. Air kristal umumnya dapat dihilangkan dengan pemanasan, tetapi sering kali sifat kristalnya juga menghilang dibandingkan dengan garam anorganik. Protein mengkristal dengan sejumlah besar air dalam kisi kristalnya. Kandungan air hingga 50% sudah sering ditemukan. Suatu garam yang mengandung air kristal dikenal sebagai hidrat. Struktur hidrat dapat sangat rumit, karena adanya ikatan hidrogen yang menentukan struktur polimer. Dalam sejarah, struktur kebanyakan hidrat belum diketahui dan titik dalam suatu rumus hidrat digunakan untuk menentukan komposisi air tanpa menunjukkan bagaimana air terikat. Contohnya:

1.  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  - tembaga(II) sulfat pentahidrat.
2.  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  - kobalt(II) klorida heksahidrat.
3.  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - timah(II) (*atau stano*) klorida dihidrat.

Pada kebanyakan garam, ikatan air yang pasti tidak penting karena molekul air akan melemah saat pelarutan. Sebagai contoh, larutan yang disiapkan dari  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{CuSO}_4$  anhidrat memiliki sifat yang identik. Oleh karena itu, pengetahuan tentang derajat hidrasi hanya penting untuk menentukan berat ekuivalen: berat satu mol  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  lebih besar daripada satu mol  $\text{CuSO}_4$ . Dalam beberapa kasus, derajat hidrasi merupakan titik kritis dalam menentukan sifat kimia.

#### 1.4.4 Air Imbibisi

Air imbibisi merupakan air yang masuk ke dalam bahan pangan dan akan menyebabkan pengembangan volume, tetapi air ini bukan merupakan komponen penyusun bahan pangan tersebut. Air imbibisi terdapat pada bahan pangan berdaya serap air tinggi yang kemudian terjadi pembengkakan. Contohnya agar-agar, air dengan beras bila dipanaskan akan membentuk nasi, atau pembentukan gel dari bahan pati.



Gambar 21. Air yang Ditambahkan ke dalam Beras yang Dimasak Menjadi Nasi.

(Sumber: [chopstickchronicles.com](http://chopstickchronicles.com))

Dalam bahasa latin, Imbibisi artinya "minum". Imbibisi berarti kemampuan bahan pangan untuk menyerap air dari luar. Pada peristiwa tersebut, air yang masuk ke dalam bahan/produk pangan dan terserap disebut air imbibisi. Akibatnya bahan pangan akan mengembang. Bahan yang mengalami imbibisi dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu:

1. Bahan/produk pangan yang pada waktu imbibisi mengembang dengan tidak terbatas, yang artinya bagian-bagian yang menyusun akan terlepas dan tercampur air menjadi koloid dalam fase sol. Contohnya roti yang direndam air akan mengembang yang akhirnya hancur dan larut dalam air tersebut.

2. Setelah mencapai volume tertentu tidak dapat mengembang lagi, karena bahan yang pada waktu imbibisi dapat mengembang dengan terbatas. Misalnya kacang tanah yang direndam air akan mengembang sampai volume tertentu.

Faktor-faktor yang mempengaruhi imbibisi, yaitu:

1. Tekanan hidrostatik

Karena meningkatnya volume air, masuknya air ke dalam bahan dapat menimbulkan tekanan hidrostatik dan dapat menyebabkan meningkatnya tekanan difusi air akibat dari tekanan hidrostatik. Hal ini juga dapat menyebabkan naiknya kecepatan difusi ke luar dan menurunnya kecepatan penyerapan air oleh bahan, sehingga kecepatan penyerapan pada bentuk permulaan yang tinggi dan kemudian semakin lambat akan sejalan dengan naiknya tekanan hidrostatik sampai terjadinya keseimbangan.

2. Konsentrasi air

Semakin bertambah besar antara perbedaan tekanan difusi antara cairan luar dan juga di dalam bahan dengan bertambah cepatnya penyerapan air oleh bahan.

3. Luas permukaan bahan/produk pangan yang kontak dengan air.

Berbanding lurus dengan luas permukaan merupakan kecepatan penyerapan air oleh bahan. Bagian khusus pada bahan dapat menyerap air lebih cepat pada keadaan tertentu.

4. Suhu

Energi akan digunakan apabila air dipanaskan dan sebagian energi ini akan dipakai untuk meningkatkan difusi air. Oleh sebab itu, apabila suhu ditingkatkan, maka untuk kecepatan penyerapan juga akan naik sampai batas tertentu, dimana setiap 10°C celcius suhu akan dinaikkan dengan kecepatan penyerapan kira-kira dua kali lipat pada waktu permulaan.

5. Komposisi kimia

Dibandingkan dengan bahan/produk pangan yang kandungannya memiliki karbohidrat tinggi, maka bahan yang mengandung protein tinggi dapat menyerap air lebih cepat sampai tingkat tertentu. Bahan dengan kadar minyak yang tinggi tetapi kadar proteinnya rendah untuk daya kecepatan serapnya akan sama dengan biji yang berkadar karbohidrat tinggi.

## 1.5 Peranan Air dalam Bahan dan Produk Pangan

<sup>10</sup> Air dalam bahan pangan mempengaruhi penampakan, tekstur, serta cita rasa makanan tersebut. Air juga terdapat dalam bahan pangan kering yang secara kasat mata tidak terlihat adanya air, seperti tepung-tepungan dan biji-bijian dalam jumlah tertentu. Air dapat berupa komponen intrasel atau ekstrasel dalam sayuran dan produk hewani, sebagai medium pendispersi atau pelarut dalam berbagai produk, sebagai fase terdispersi dalam beberapa produk yang diemulsi seperti mentega dan margarin, dan sebagai komponen tambahan dalam produk pangan lainnya.

Air memainkan banyak peran yang sangat penting dalam makanan. Keadaan ini mempengaruhi tekstur yang memungkinkan aktivitas enzim dan reaksi kimia terjadi (bertindak sebagai pelarut), mendukung pertumbuhan mikroorganisme, memungkinkan molekul besar seperti polisakarida dan protein untuk bergerak, berinteraksi dan menghantarkan panas di dalam makanan. Banyak bahan pangan seperti daging, unggas, makanan laut, buah-buahan dan sayuran terdiri dari 75% atau lebih banyak air, sehingga air adalah komponen paling melimpah di banyak bahan pangan segar. Makanan lain seperti produk susu dan makanan yang baru dipanggang juga mengandung kadar air yang tinggi (sekitar 35% atau lebih). Makanan yang memiliki kelembaban tinggi berisiko terkontaminasi oleh pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri, ragi, dan jamur. Sedangkan makanan kering,

seperti pasta, umumnya memiliki umur simpan yang lama, namun tidak semua air yang terdapat dalam makanan itu sama. Kebanyakan ahli teknologi pangan membagi air menjadi tiga bentuk: bebas, teradsorpsi, dan terikat. Air bebas adalah air yang benar-benar dapat diperas dari makanan, seperti jus dalam jeruk, atau air yang terkadang terpisah dalam krim asam atau yogurt. Air teradsorpsi adalah air yang menempel pada permukaan molekul seperti polisakarida dan protein yang tidak langsung keluar dari makanan. Air terikat adalah air yang secara fisik terperangkap di dalam kristal, seperti pati kristal, atau zat lain dalam makanan (beberapa ahli teknologi pangan lebih suka mendefinisikan hanya bentuk air bebas dan terikat). Poin pentingnya adalah bahwa air yang bebas dan teradsorpsi dapat mendorong pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan air yang terikat tidak bisa

Air adalah pelarut terpenting bagi makanan berbentuk padat. Air dalam pangan memiliki beberapa pengaruh terhadap sifat fisik, perilaku pangan dalam pengolahan, pertumbuhan mikroba, stabilitas dan palatabilitas, dan. Pentingnya air dalam pangan karena keberadaannya di hampir semua pangan, dominasi air sebagai komponen pangan, serta sifat fisik dan kekhasan air dibandingkan dengan komponen pangan lainnya. Perilaku fase air seperti itu luar biasa. Air memiliki suhu leleh dan titik didih yang cukup tinggi serta panas laten transisi orde pertama yang tinggi. Dalam makanan dengan kandungan air yang tinggi, perilaku fase air cukup mirip, meskipun berbeda dengan perilaku fase air murni. Pembentukan es dan pemisahan air dari padatan makanan terjadi di bawah 0 ° C dan pendidihan air terjadi pada suhu mendekati 100°C. Perilaku fase air dan karakteristik termodinamika mengatur dan menentukan kondisi pemrosesan yang sering diperlukan untuk pengawetan makanan melalui dehidrasi dan pembekuan.

Kandungan air beberapa bahan pangan pada tabel di bawah menunjukkan bahwa banyaknya air dalam suatu bahan pangan **tidak dapat ditentukan dari keadaan fisik** bahan pangan tersebut. Misalnya buah nanas seakan-akan memiliki kandungan air yang lebih besar daripada

kol, kandungan air pada susu seakan-akan lebih besar dari kacang hijau dan susu bubuk dan tepung terigu tidak mengandung air.

Tabel 5.

Kandungan Air pada Beberapa Bahan Pangan.

Bahan Pangan	Kadar Air (%)
Selada	95
Tomat	94
Semangka	93
Kol	92
Jeruk	87
Kacang hijau	90
Nanas	85
Susu sapi	88
Kentang	78
Pisang	75
Ayam	70
Daging sapi	66
Daging ternak kering	38
Keju	37
Roti	36
Buah kering	28
Selai	28
Madu	20
Mentega dan Margarin	16
Susu bubuk	14
Beras	12
Tepung terigu	12
Biji Kopi Panggang	5
Minyak	0

(Sumber: Winarno, 1992 dan DeMann, 1997)

Buah mentah yang menjadi matang selalu bertambah kandungan airnya. Sebagai contoh pada buah apel yang belum matang hanya me-

ngandung air sebanyak 10% dan akan menghasilkan buah apel matang yang kandungan airnya mencapai 80%. Buah yang kandungan airnya paling tinggi yaitu semangka dengan kadar air 97%.



Gambar 22. Tingkat Kematangan Buah Apel.  
(Sumber: shutterstock.com)

Adanya air dalam bahan pangan memberikan dampak yang signifikan pada sifat dari bahan pangan tersebut, dimana sifatnya akan berubah dengan adanya perubahan kadar air. Istilah seperti *water binding*, hidrasi dan *water holding capacity* (WHC) membantu untuk menggambarkan pengaruh dari air pada sifat-sifat bahan pangan. *Water binding* dan hidrasi digunakan untuk menggambarkan kecenderungan umum air untuk berasosiasi dengan zat hidrofilik, termasuk bahan seluler. Istilah-istilah ini berkaitan dengan interaksi air sebagai pelarut dan zat terlarut yang berupa makromolekul. Tingkat dan ketahanan *water binding* atau hidrasi tergantung pada sejumlah faktor termasuk sifat konstituen tak berair, komposisi garam, pH, dan suhu.

*Water holding capacity* (WHC) merupakan istilah yang sering digunakan untuk menggambarkan kemampuan matriks molekul (biasanya makromolekul pada konsentrasi rendah) untuk secara fisik menjebak sejumlah besar air dengan cara menghambat eksudasi di bawah penerapan eksternal yang biasanya dilakukan oleh gaya gravitasi. Matriks pada bahan pangan yang dapat memerangkap air dengan cara

ini termasuk gel pektin, pati dan sel-sel jaringan, baik pada tanaman dan hewan.

Sebagian besar air dalam jaringan dan gel dapat dikategorikan sebagai air yang terperangkap secara fisik dan *water holding capacity* pada makanan memiliki efek yang signifikan pada kualitas makanan. Contoh cacat kualitas yang terkait dengan penurunan *water holding capacity* adalah sinergi gel, pencairan eksudasi dari makanan yang sebelumnya beku dan kinerja jaringan hewan yang lebih rendah dalam sosis yang dihasilkan dari penurunan pH otot yang menyertai peristiwa fisiologis normal post-mortem. Dalam semua kasus, cacat kualitas berasal dari relokasi fisik molekul air di ruangan, tetapi tidak selalu mencerminkan perubahan signifikan dalam sifat interaktif dari molekul-molekul ini.

Air mempengaruhi sifat protein dan polisakarida. Seperti disebutkan sebelumnya, makanan dengan kadar air rendah (10%-20% atau kurang) akan menjadi kaku dan keras, sedangkan makanan lembab (35% atau lebih) akan menjadi fleksibel dan lembut. Protein mengandung atom nitrogen dan polisakarida mengandung atom oksigen. Kedua atom ini elektronegatif dan oleh karena itu membentuk ikatan hidrogen dengan atom hidrogen dalam molekul air yang menghasilkan molekul air teradsorpsi ke permukaan protein dan polisakarida. Molekul air yang teradsorpsi menurunkan suhu transisi gelas dari protein dan polisakarida sehingga lebih fleksibel pada suhu kamar dan di atasnya. Pada tepung terigu kering, protein utama membentuk gluten, yang disebut gliadin dan glutenin, bersifat kaku dan tidak fleksibel pada suhu kamar. Ketika air ditambahkan, kedua protein ini menjadi fleksibel pada suhu kamar dan mampu membuka dan bergerak serta terikat satu sama lain untuk membentuk gluten. Proses pencampuran adonan (menguleni) membantu memindahkan protein di sekitar ikatan yang lebih terjamin (disebut ikatan silang) untuk membentuk jaringan gluten yang kuat. Hal yang sama berlaku untuk molekul polisakarida pati, amilosa dan amilopektin. Ketika air ditambahkan ke pati, air

mulai berikatan hidrogen dengan molekul pati. Dalam hal ini, biasanya pada 35% atau lebih kelembaban, suhu transisi gelas dari molekul pati berada di atas suhu kamar, sehingga dibutuhkan panas untuk mencapai suhu dimana butiran pati menyerap air dan mengembang. Keadaan ini dikenal sebagai suhu gelatinisasi pati. Saat pasta kering dimasak, gluten terhidrasi, butiran pati menyerap air, dan pasta berubah dari keras dan rapuh menjadi fleksibel dan kenyal.

Protein dan polisakarida mempengaruhi struktur bahan dan produk pangan. Jika kaku, makanan akan keras, tetapi jika fleksibel makanan akan lunak. Dalam hal ini air bertindak sebagai *plasticizer* (bahan pelembut), menurunkan suhu transisi gelas ( $T_g$ ) dari molekul dalam makanan. Suhu transisi gelas adalah suhu dimana molekul berubah dari struktur kaku seperti kaca (di bawah  $T_g$ ) menjadi struktur fleksibel (di atas  $T_g$ ). Keadaan ini tidak terlalu berbeda dengan titik leleh zat ketika zat padat seperti cokelat meleleh menjadi cairan (dalam contoh ini kristal lemak meleleh, bukan air). Aktivitas air dan suhu transisi gelas makanan menunjukkan hubungan linier yang stabil pada berbagai nilai. Sehingga tidak mengherankan jika suatu makanan dengan kelembaban rendah akan memiliki aktivitas air yang rendah dan  $T_g$  yang relatif tinggi. Makanan dengan karakteristik ini akan menjadi keras dan kering pada suhu kamar. Menambahkan lebih banyak kelembaban, yang bisa terjadi di lingkungan yang lembab, meningkatkan aktivitas air dan menurunkan  $T_g$ , sehingga makanan menjadi lembut dan lembab pada suhu kamar. Dengan kata lain, suhu ( $T_g$ ) dimana molekul berubah dari fleksibel menjadi kaku di bawah suhu kamar. Kondisi ini menjelaskan mengapa makanan menjadi kaku dan keras di dalam freezer.

Terdapat pertanyaan mengapa molekul sederhana seperti air memainkan begitu banyak peran penting dalam makanan? Itu semua berkaitan dengan sesuatu yang disebut "ikatan hidrogen" yang terjadi antara molekul air, antara air dan molekul lain yang mengandung atom oksigen dan nitrogen seperti protein dan karbohidrat. Sebuah molekul air memiliki struktur unik dengan dua atom hidrogen terikat pada satu

atom oksigen. Dua ikatan oksigen-hidrogen dipisahkan oleh sudut  $104,5^\circ$  karena tolakan elektron lain (disebut elektron tidak terikat) dalam atom oksigen. Tetapi yang lebih penting, oksigen adalah atom yang sangat "elektronegatif" memiliki afinitas yang kuat untuk elektron, sedangkan hidrogen tidak. Jadi, dua elektron dalam setiap ikatan oksigen-hidrogen dari sebuah molekul air menghabiskan lebih banyak waktu di sekitar atom oksigen, memberikan atom oksigen muatan listrik yang sebagian negatif, sementara setiap atom hidrogen membawa muatan listrik yang sebagian positif. Hal ini menciptakan tarikan "elektrostatik" yang kuat antara atom hidrogen dari satu molekul air dengan atom oksigen dari molekul air lainnya, menciptakan apa yang disebut ikatan hidrogen antara dua molekul air. Karena ada dua atom hidrogen dalam setiap molekul air, maka satu molekul air sebenarnya dapat berikatan hidrogen dengan dua molekul air lainnya dan seterusnya, sehingga menciptakan jaringan ikatan hidrogen yang tak terbatas antara semua molekul air dalam wadah air. Ikatan hidrogen antar molekul air dianggap sebagai ikatan yang relatif lemah, yaitu hanya sekitar 5% sekuat ikatan kimia yang terbentuk antara oksigen dan atom hidrogen dalam molekul air. Namun ketika semua ikatan hidrogen dianggap dalam "lautan" molekul air, menjadi jelas mengapa dibutuhkan begitu banyak energi untuk memisahkan molekul air dari satu sama lain sehingga mulai bergerak lebih cepat saat digunakan panas. Diperlukan energi dua kali lebih banyak untuk menaikkan suhu air dibandingkan untuk menaikkan suhu minyak zaitun dengan jumlah derajat yang sama. Keadaan ini juga menjelaskan mengapa dibutuhkan energi lima kali lebih banyak untuk memisahkan molekul air secara fisik ke titik dimana dapat melepaskan diri satu sama lain sebagai uap. Ketika molekul air lepas sebagai uap, maka akan membawa semua energi ekstra ini, yang mengakibatkan titik didih air tidak pernah naik di atas  $100^\circ\text{C}$  ( $212^\circ\text{F}$ ) pada satu atmosfer bertekanan. Jika lebih banyak panas ditambahkan ke air mendidih tersebut, maka hanya mendidih lebih cepat daripada meningkatkan suhu. Tetapi ketika air membeku tidak ada tempat bagi molekul untuk

keluar, sehingga es dapat didinginkan hingga hampir semua suhu di bawah 0 °C (32 °F). Es batu dalam freezer akan memiliki suhu yang sama dengan freezer.

Berdasarkan uraian di atas, secara umum peranan air pada bahan dan produk pangan adalah:

1. Menentukan tingkat kesegaran buah dan sayuran
2. Menentukan tingkat keawetan/umur simpan bahan dan produk pangan
3. Bereaksi fisik dengan protein, polisakarida dan lemak yang memberikan kontribusi secara signifikan pada tekstur bahan dan produk pangan.
4. Sebagai media antara gluten dengan karbohidrat dan membentuk sifat kenyal pada pembentukan gluten.
5. Media pendukung terjadinya reaksi kimia

### 1.5.1 Kadar Air

Jumlah air yang terkandung dalam bahan pangan secara total biasanya dinyatakan dalam persen berat bahan pangan tersebut dan disebut dengan kadar air. Kadar air suatu bahan adalah persentase kandungan air dalam suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah (*wet basis*) atau berdasarkan berat kering (*dry basis*). Kadar air berat basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100%, sedangkan kadar air berat kering dapat lebih dari 100%.

Kadar air berat basah (bb) adalah perbandingan antara berat air yang diuapkan dengan berat bahan sebelum pengeringan (berat total). Kadar air berat basah dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$m = \frac{W_m}{W_m + W_d} \times 100\%$$

atau

$$m = \frac{W_m}{W_t} \times 100\%$$

$$\frac{W_m}{W_t}$$

Di mana:

$m$  = kadar air berat basah (% bb)

$W_m$  = berat air dalam bahan (g)

$W_d$  = berat bahan kering mutlak (g)

$W_t$  = berat total =  $W_m + W_d$  dalam g

Kadar air berat kering (bk) adalah perbandingan antara berat air yang diuapkan dengan berat bahan setelah pengeringan. Jumlah air yang diuapkan adalah berat bahan sebelum pengeringan dikurangi berat bahan setelah pengeringan. Kadar air berat kering dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$m = \frac{W_m}{W_d} \times 100\%$$

atau

$$M = \frac{100 \cdot m}{100 - m} \times \%$$

Di mana:

$M$  = kadar air berat kering (% bk)

$W_m$  = berat air dalam bahan (g)

$W_d$  = berat bahan kering mutlak (g)

$m$  = kadar air berat basah (% bb)

Berat bahan kering adalah berat bahan setelah mengalami pengeringan dalam waktu tertentu sehingga beratnya konstan. Pada proses pengeringan, air yang terkandung dalam bahan tidak dapat seluruhnya diuapkan meskipun demikian hasil yang diperoleh disebut juga sebagai berat bahan kering.

Kadar air bahan pangan dapat diukur dengan berbagai cara. Hal ini tergantung pada sifat bahannya. Pada umumnya penentuan kadar air dilakukan dengan mengeringkan bahan dalam oven pada suhu 105°C-110°C selama 3 jam atau sampai diperoleh berat yang konstan. Selisih berat sebelum dan sesudah pengeringan adalah banyaknya air

yang diuapkan.

Untuk bahan pangan yang tidak tahan panas seperti bahan dengan kadar gula tinggi, minyak, daging, kecap dan lain-lain, pemanasan dilakukan dalam oven vakum pada suhu yang lebih rendah. Pengeringan dapat pula dilakukan tanpa adanya pemanasan dengan cara dimasukkan ke dalam eksikator dengan  $H_2SO_4$  pekat sebagai pengering hingga mencapai berat yang konstan.

Penentuan kadar air dari bahan-bahan yang kadar airnya tinggi dan mengandung senyawa-senyawa yang mudah menguap (*volatile*) seperti sayuran dan susu, menggunakan destilasi dengan pelarut tertentu, misalnya toluene, xilol, dan heptana yang berat jenisnya lebih rendah dari air. Sampel dimasukkan ke dalam tabung bola (*flask*) kemudian dipanaskan. Air dan pelarut menguap, diembunkan, dan jatuh pada tabung *Aufhauser* yang berskala, dimana air yang mempunyai berat jenis lebih besar ada di bagian bawah sehingga jumlah air yang diuapkan dapat dilihat pada skala tabung *Aufhauser* tersebut.

Untuk bahan pangan dengan kadar gula tinggi, kadar airnya dapat diukur dengan menggunakan refraktometer di samping menentukan padatan terlarutnya. Dalam hal ini, air dan gula dianggap sebagai komponen-komponen yang mempengaruhi indeks refraksi.

Metode pengukuran yang umum dilakukan di laboratorium adalah dengan cara pengeringan di dalam oven atau dengan cara destilasi. Pengukuran secara praktis di lapangan dapat dilakukan dengan menggunakan *moisture tester*, yaitu alat pengukur kadar air secara elektronik.

Kadar air dalam bahan pangan ikut menentukan kesegaran dan umur simpan dari bahan pangan. Kadar air yang tinggi mengakibatkan mikroorganisme seperti bakteri, kapang dan khamir mudah untuk berkembang biak, sehingga akan terjadi perubahan pada bahan pangan tersebut. Semakin banyak jumlah kandungan air dalam bahan, maka jumlah pertumbuhan mikroorganismenya akan semakin banyak dan umur simpan bahan tersebut tidak akan lama. Begitupun sebaliknya, semakin sedikit jumlah kandungan air dalam bahan, maka jumlah

pertumbuhan mikroorganismenya tidak akan terlalu banyak dan dapat memperpanjang umur simpannya.

Berdasarkan uraian di atas beberapa hal penting tentang kadar air adalah:

1. Menyatakan persentase dari berat bahan secara keseluruhan
2. Menyatakan persentase kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah (*wet basis*) atau berdasarkan berat kering (*dry basis*)
3. Mencerminkan jumlah air keseluruhan yang dikandung oleh bahan/produk pangan.
4. Merupakan salah satu karakteristik penting pada bahan pangan, karena air dapat mempengaruhi kesegaran, penampakan, tekstur dan aroma.

### 1.5.2 Aktivitas Air ( $a_w$ )

Berbagai jenis bahan pangan dengan kadar air yang sama memungkinkan memiliki umur simpan yang berbeda. Dengan demikian, terbukti bahwa kadar air saja bukanlah indikator yang dapat diandalkan untuk umur simpan bahan pangan. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan dalam intensitas air yang terkait dengan konstituen yang tidak berair. Istilah aktivitas air ( $a_w$ ) dikembangkan untuk mencerminkan intensitas yang terkait air dengan berbagai konstituen yang tidak berair.

Aktivitas air ( $a_w$ ) merupakan salah satu parameter yang sering diartikan sebagai jumlah air bebas dalam bahan pangan yang dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Berbagai mikroba mempunyai  $a_w$  minimum agar dapat tumbuh dengan baik, misalnya bakteri  $a_w = 0,90$ ; khamir  $a_w = 0,80 - 0,90$ ; dan kapang  $a_w = 0,60 - 0,70$ . Kebanyakan enzim menjadi tidak aktif jika aktivitas air turun di bawah 0,85 seperti *amylase*, *fenoloksidase*, dan *peroksidase*. Akan tetapi lipase aktif pada aktivitas air 0,30 atau bahkan 0,10. Pencoklatan non

enzimatik atau reaksi Maillard merupakan salah satu faktor paling penting yang menimbulkan pembusukan pada makanan. Reaksi ini sangat bergantung pada aktivitas air dan mencapai laju maksimum pada nilai 0,6 sampai 0,7.

Istilah aktivitas air digunakan untuk menjabarkan air yang tidak terikat atau bebas dalam suatu sistem yang dapat menunjang reaksi biologis dan kimiawi. Air yang terkandung dalam bahan makanan apabila terikat kuat dengan komponen bukan air, maka akan lebih sulit digunakan untuk aktivitas mikrobiologis maupun aktivitas kimia.

Menurut Hukum Rault, aktivitas air berbanding lurus dengan jumlah mol pelarut dan berbanding terbalik dengan jumlah mol di dalam larutan.

$$A_w = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

Dimana:

$n_1$  = jumlah mol pelarut

$n_2$  = jumlah mol zat terlarut

$n_1 + n_2$  = jumlah mol larutan

Berdasarkan uraian di atas, catatan penting tentang aktivitas air ini sebagai berikut:

1. Aktivitas air ( $a_w$ ) adalah perbandingan antara tekanan uap larutan dengan tekanan uap air solven murni pada temperatur yang sama ( $a_w = p/p_0$ ). Aktivitas air (singkatan:  $a_w$ ) adalah sebuah angka yang menghitung intensitas air di dalam unsur-unsur bukan air atau benda padat.
2. Semakin tinggi  $a_w$  dalam sebuah benda, akan lebih menopang kehidupan mikroorganisme. Bakteri biasanya memerlukan  $a_w$  paling tidak 0,91 dan jamur paling tidak 0,7.
3. Air akan berpindah dari benda dengan  $a_w$  tinggi ke benda dengan  $a_w$  rendah. Sebagai contoh, jika madu ( $a_w \approx 0,6$ ) ditem-

patkan di udara terbuka yang lembab ( $a_w \approx 0,7$ ), maka madu akan menyerap air dari udara.

4. Nilai  $a_w$  suatu bahan atau produk pangan dinyatakan dalam skala 0 sampai 1.
5. Nilai 0 berarti dalam makanan tersebut tidak terdapat air bebas, sedangkan nilai 1 menunjukkan bahwa bahan pangan tersebut hanya terdiri dari air murni (air bebas).
6. Kapang, khamir, dan bakteri ternyata memerlukan nilai  $a_w$  yang paling tinggi untuk pertumbuhannya. Nilai  $a_w$  terendah dimana bakteri dapat hidup adalah 0,86.
7. Bakteri-bakteri yang bersifat halofilik atau dapat tumbuh pada kadar garam tinggi dapat hidup pada nilai  $a_w$  yang lebih rendah yaitu 0,75. Sebagian besar makanan segar mempunyai nilai  $a_w = 0,99$ .
8. Pada produk pangan tertentu supaya lebih awet biasa dilakukan penurunan nilai  $a_w$ . Cara menurunkan nilai  $a_w$  antara lain dengan menambahkan suatu senyawa yang dapat mengikat air.

### 1.5.2.1 Aktivitas Air ( $a_w$ ) dan Stabilitas Pangan

Tidak seperti kadar air, aktivitas air dapat menentukan stabilitas bahan dan produk pangan. Aktivitas air dapat memprediksi mikroorganisme mana yang akan menjadi sumber potensial pembusukan dan kontaminasi (perbedaan antara patogen bakteri dan fisiologi jamur atau  $a_w$  0,91 dan 0,70). Aktivitas air pada makanan sangat penting dalam menjaga stabilitas kimianya. Aktivitas air sebagian bertanggung jawab untuk meminimalkan reaksi pencoklatan non-enzimatik dan reaksi oksidasi lipid autokatalitik, memperpanjang aktivitas enzim dan vitamin, mengoptimalkan sifat fisik produk seperti migrasi kelembaban, tekstur, rasa, bau, dan umur simpan. Setiap perusahaan ritel makanan perlu mengetahui apa yang akan terjadi pada produk saat diletakkan di atas rak, bahkan dalam kondisi suhu dan kelembaban yang ideal.

Stabilitas produk pangan yang disimpan di rak berarti produk tidak akan berjamur, tetapi juga mempengaruhi tekstur makanan, migrasi kelembaban, serta penggumpalan. Stabilitas dan keamanan pangan bergantung pada aktivitas air dan pH di lingkungannya. Aktivitas air lebih tinggi pada produk yang mudah rusak. Bahkan pada nilai pH rendah dan  $a_w$  rendah, spesies ragi dan kapang tertentu yang dapat mentolerir konsentrasi zat terlarut tinggi dapat menimbulkan risiko terhadap stabilitas makanan.

Terdapat pendekatan berbeda untuk stabilitas produk buah segar. Buah komersial yang ditempatkan secara minimal adalah buah segar dengan kelembaban tinggi dipersiapkan untuk konsumsi dan distribusi ke konsumen dalam keadaan segar. Penanganannya dilakukan secara minimum, termasuk prosedur persiapan seperti pencucian, pengupasan, pemotongan, pengepakan dan lain-lain. Setelah itu produk buah biasanya ditempatkan pada penyimpanan berpendingin, dimana kestabilannya bervariasi tergantung pada jenis produk. Namun stabilitas produk tanpa pendinginan merupakan masalah yang dihadapi, tidak hanya di negara berkembang tetapi juga di negara maju. Prinsip yang digunakan untuk daging dengan kelembaban tinggi yang stabil di rak ( $a_w > 0,90$ ), dimana hanya perlakuan panas ringan yang digunakan dan produk masih menunjukkan masa simpan yang lama tanpa pendinginan. Dapat pula diterapkan pada bahan makanan lain. Buah-buahan akan menjadi pilihan yang tepat. Kombinasi faktor-faktor seperti aktivitas air ( $a_w$ ), pH, potensi redoks, suhu, dan penggabungan aditif dalam pengawetan buah dan sayuran adalah penting dan semuanya memainkan peran penting dalam meningkatkan umur simpan komoditas segar serta olahannya. Selama dekade terakhir, buah-buahan dengan kadar air tinggi diproses secara minimal yang stabil ( $a_w > 0,93$ ) telah dikembangkan di negara-negara Amerika Latin, yaitu di Argentina, Meksiko dan Venezuela.

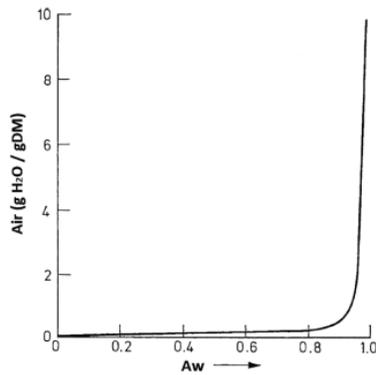
Metodologi yang digunakan didasarkan pada kombinasi perlakuan panas rendah, seperti blansing selama 1-3 menit menggunakan uap jenuh, sedikit mengurangi  $a_w$  (0,98-0,93) dengan penambahan glukosa

atau sukrosa yang menurunkan pH (4,1-3,0), penambahan asam sitrat atau fosfat, dan menambahkan antimikroba (1000 ppm kalium sorbat atau natrium benzonat, serta 150 ppm natrium sulfit atau natrium bisulfit) ke dalam produk sirup. Berbagai metode alternatif untuk mengawetkan buah dan sayuran dapat digunakan di pedesaan seperti pengeringan dengan sinar matahari, dehidrasi osmotik, dan pendinginan. Buah dan sayuran dapat diproses sebelumnya melalui blansing untuk menghilangkan enzim dan mikroorganisme. Selama dekade terakhir, telah dikembangkan teknologi inovatif untuk mendapatkan produk buah dengan kelembaban tinggi yang stabil di rak penyimpanan, dapat disimpan selama 3-8 bulan tanpa pendinginan. Teknologi baru ini didasarkan pada kombinasi faktor penghambat untuk memerangi efek merusak mikroorganisme pada buah-buahan, termasuk faktor tambahan untuk mengurangi kehilangan kualitas utama dalam laju reaksi. Faktor yang dipilih untuk merumuskan prosedur pengawetan diantaranya adalah:

1. Pengurangan aktivitas air ( $a_w$  0,94-0,98),
2. Kontrol pH (pH 3,0-4,1),
3. Perlakuan suhu rendah,
4. Penambahan bahan pengawet (konsentrasi 1.500 ppm),
6. Penambahan aditif anti pencoklatan.

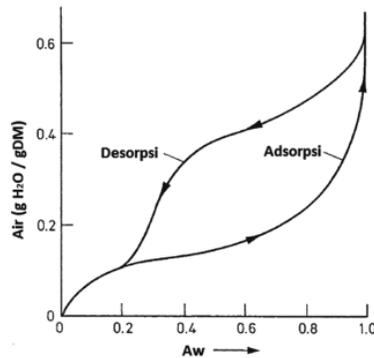
#### 1.5.2.2 Kurva Sorpsi Isotermik

Hubungan antara kadar air bahan pangan dan aktivitas air ( $a_w$ ) ditunjukkan oleh kurva sorpsi isotermik bahan pangan. Pada bahan pangan, sorpsi isotermik air dapat menggambarkan kandungan air yang dimiliki bahan pangan tersebut sebagai keadaan kelembaban relatif pada ruang tempat penyimpanan.



Gambar 23. Kurva Sorpsi Isotermik pada Bahan Pangan dengan Kadar Air Tinggi.  
(Sumber: Belitz et. al., 2009)

Pada kadar air yang lebih rendah dari 50%, adanya perubahan kecil pada kadar air akan menyebabkan perubahan besar dalam aktivitas air. Oleh karena itu, sorpsi Isotermik bahan pangan dengan kadar air yang lebih rendah ditunjukkan dengan ordinat yang diperluas.



Gambar 24. Kurva Sorpsi Isotermik pada Bahan Pangan dengan Kadar Air Rendah.  
(Sumber: Belitz et. al., 2009)

Gambar di atas menunjukkan bahwa desorpsi isothermik yang menunjukkan arah proses pengeringan terletak sedikit di atas adsorpsi isothermik yang berkaitan dengan penyimpanan bahan pangan yang sensitif terhadap kelembaban. Pada umumnya, kurva sorpsi isothermik bahan makanan berbentuk *sigmoid* (menyerupai huruf S). Pada kenyataannya grafik penyerapan uap air dari udara oleh bahan makanan (kurva adsorpsi) dan grafik pelepasan uap air oleh bahan makanan ke udara (kurva desorpsi) tidak berimpit. Keadaan seperti hal ini disebut *fenomena histerisis*.

Sorpsi isothermik tidak hanya dapat menunjukkan pada tingkat kadar air berapa dapat dicapai tingkat  $a_w$  yang diinginkan atau tidak diinginkan, tetapi dapat juga menunjukkan terjadinya perubahan-perubahan penting kandungan air yang dinyatakan dalam  $a_w$ .

Apabila air ditambahkan pada bahan makanan kering, maka molekul-molekul air diadsorpsi oleh permukaan bahan sampai seluruh permukaan menyerap air yang ditambahkan tersebut. Hal ini terdapat pada daerah monolayer, yaitu pada kisaran  $a_w$  0 - 0,20. Air yang terkandung adalah air yang terikat pada permukaan (air adsorpsi) yang sangat stabil dan tidak dapat dibekukan pada suhu berapapun. Daerah ini merupakan ambang batas ketengikan, sebab air yang ada sangat terbatas, hanya cukup untuk melindungi produk dari senyawa  $O_2$ .

Air yang terkandung pada daerah multilayer kurang terikat kuat dibandingkan dengan daerah monolayer. Daerah multilayer berada pada kisaran RH 20% - 70%, sedangkan daerah aman pada kisaran RH 20% - 55%. Daerah kondensasi kapiler (RH > 70%) mengandung air bebas yang cukup banyak sehingga sangat optimal untuk beberapa reaksi biokimia, mikroba dan reaksi fisik.

Di dalam kegiatan sehari-hari, kelembaban relatif keseimbangan diungkapkan dengan keadaan air keseimbangan. Kadar air keseimbangan bahan makanan sangat penting peranannya dalam proses penyimpanan dan pengeringan.

Sorpsi isothermik air bahan pangan dapat diperoleh dengan dua

cara. Cara yang pertama yaitu bahan pangan dengan kadar air yang diketahui dibiarkan mencapai kesetimbangan dengan sisa ruang dalam wadah tertentu yang tertutup sangat rapat. Tekanan uap parsial uap airnya diukur dengan manometer atau kelembaban relatif (RH) dari sisa ruang tersebut diukur dengan higrometer listrik, *point cells*, atau psikrometer rambut. Dengan demikian didapatkan data hubungan kadar air dengan RH dalam keadaan keseimbangan atau dengan  $a_w$  dari bahan pangan, dimana  $RH = a_w \times 100$

Cara kedua yaitu sampel dalam jumlah kecil diletakkan pada beberapa ruangan yang RH-nya tetap, misalnya dalam desikator yang mengandung larutan garam jenuh seperti Litium klorida untuk  $RH = 11\%$ ,  $MgCl_2$  untuk  $RH = 32\%$ ,  $NaCl$  untuk  $RH = 75\%$  dan kalium sulfat untuk  $RH = 97\%$ . Setelah keseimbangan tercapai, selanjutnya kadar air bahan diukur secara gravimetri atau cara lain. Dengan demikian didapatkan hubungan antara kadar air bahan dan RH dalam keadaan kesetimbangan.

### 1.5.2.3 Hubungan Aktivitas Air dengan Umur Simpan Bahan Pangan

Aktivitas air ( $a_w$ ) merupakan sarana penting untuk memprediksi dan mengontrol umur simpan produk makanan. Umur simpan produk pangan merupakan selang waktu antara saat produk pangan tersebut diproduksi hingga saat dikonsumsi dimana produk tersebut berada dalam kondisi yang baik berdasarkan karakteristik mutunya, meliputi penampakan, rasa, aroma tekstur dan nilai gizi. Banyak faktor yang mempengaruhi umur simpan seperti: aktivitas air, pH, oksigen, penggunaan bahan pengawet, dan kondisi pengolahan/penyimpanan. Dengan mengukur dan mengontrol aktivitas air bahan makanan, maka dimungkinkan untuk:

- Memprediksi mikroorganisme mana yang berpotensi menjadi sumber pembusukan dan melakukan kontaminasi.
- Menjaga stabilitas kimia makanan.

- Meminimalkan reaksi pencoklatan non-enzimatis dan reaksi oksidasi lipid autokatalitik spontan.
- Mengontrol aktivitas enzim.
- Memperpanjang nutrisi dan vitamin dalam makanan.
- Mengoptimalkan sifat fisik makanan.

Mengontrol aktivitas air dan pertumbuhan mikroba akan memperpanjang umur simpan dan memungkinkan beberapa produk disimpan dengan aman tanpa pendinginan. Aktivitas air mempengaruhi laju reaksi kimia yang memburuk karena air bertindak sebagai pelarut, dapat menjadi reaktan itu sendiri atau dapat mengubah mobilitas reaktan melalui viskositas. Satu atau kombinasi dari salah satu faktor ini dapat menyebabkan kerusakan lebih cepat dan umur simpan produk yang lebih pendek. Reaksi pencoklatan non-enzimik meningkat dengan peningkatan maksimum pada  $a_w$  sebesar 0,6 sampai 0,7. Oksidasi lipid memiliki minimum  $a_w$  sekitar 0,2-0,3. Migrasi kelembaban adalah penyebab utama dari perubahan fisik yang memburuk dan hilangnya tekstur makanan. Aktivitas air merupakan fungsi temperatur, sehingga perubahan temperatur pengiriman dan penyimpanan berpengaruh terhadap sifat mikroba, kimia dan fisik. Penting untuk menentukan tingkat aktivitas air yang kritis untuk suatu produk dan seberapa sensitif produk tersebut terhadap perubahan aktivitas air. Stabilitas kimiawi yang optimal umumnya ditemukan di dekat kadar air lapisan tunggal, seperti yang ditentukan dari isotherm penyerapan air. Perubahan aktivitas air dengan penyerapan air ketika produk terkena lingkungan dengan kelembaban tinggi atau kehilangan air menyebabkan perubahan yang tidak diinginkan pada produk dan memperpendek umur simpan. Perubahan ini dapat bersifat fisik, seperti hilangnya kerenyahan pada produk kering, penggumpalan pada produk serbuk/bubuk, atau produk lembab yang kehilangan air menjadi keras dan kenyal. Perubahan lain yang tidak diinginkan adalah percepatan kerusakan kimiawi atau munculnya potensi pertumbuhan mikroba.

Banyak produk yang berbentuk bubuk/serbuk kering yang pada akhirnya akan menjadi kue, jika disimpan tanpa penghalang kelembaban atau bahan *anticaking*. Kebanyakan sereal tidak terlalu rentan terhadap kelembaban dan tidak membutuhkan tingkat penghalang (*anticaking*) yang tinggi. Kehilangan kelembaban bisa menjadi kritis untuk beberapa makanan yang dipanggang, tetapi jika terlalu tinggi tingkat kelembabannya di dalam kemasan, maka pertumbuhan mikroba dapat berkembang. Produk multi-komponen mungkin memerlukan kemasan atau *anticaking* yang terpisah untuk mencegah perpindahan kelembaban, jika aktivitas air dari masing-masing komponen tidak dapat disesuaikan. Dengan mengetahui batas aktivitas air kritis suatu produk, maka dimungkinkan untuk menghitung umur simpan berdasarkan sifat penghalang yang relevan dari bahan kemasan atau menentukan spesifikasi *anticaking* dari kemasan untuk mendapatkan umur simpan yang diinginkan.

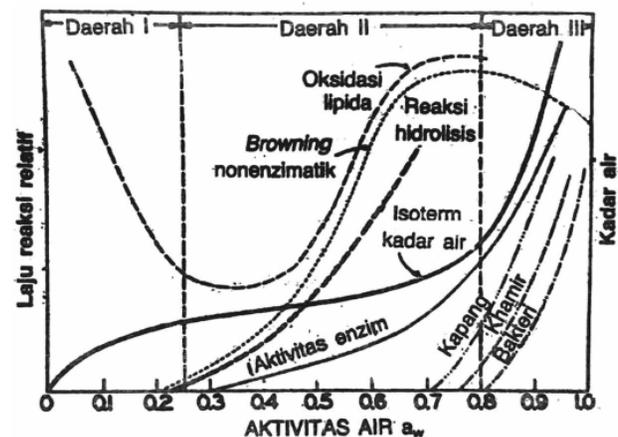
Aktivitas air berpengaruh besar terhadap berbagai proses dan perubahan yang dapat mempengaruhi kualitas bahan pangan serta terhadap laju dari banyak reaksi kimia dalam bahan pangan dan terhadap laju pertumbuhan mikroba seperti pada tabel berikut:

10 Tabel 6.  
Laju Reaksi dalam Bahan Pangan yang Ditentukan oleh Aktivitas Air.

Reaksi	Air Tipe I	Air Tipe II	Air Tipe III
Aktivitas Enzim	Nol	Rendah	Tinggi
Pertumbuhan Kapang	Nol	Rendah	Tinggi
Pertumbuhan Khamir	Nol	Rendah	Tinggi
Pertumbuhan Bakteri	Nol	Nol	Tinggi
Hidrolisis	Nol	Meningkat Cepat	Tinggi
Pencoklatan Non Enzim	Nol	Meningkat Cepat	Tinggi
Oksidasi Lipid	Tinggi	Meningkat Cepat	Tinggi

(Sumber: Labuza, 1980)

Agar lebih mudah untuk memahami hubungan antara laju reaksi dengan aktivitas air dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 25. Hubungan Kecepatan Reaksi dengan Aktivitas Air dalam Bahan Pangan.  
(Sumber: Winarno, 1992)

Aktivitas air yang menurun menghambat pertumbuhan mikroorganisme, memperlambat reaksi yang dikatalisis oleh enzim (terutama yang melibatkan enzim *hidrolase*) dan menghambat pencoklatan non-enzimatis. Sebaliknya, tingkat autoksidasi lipid meningkat dalam sistem makanan yang kering.

Tabel 7.  
Kisaran Kadar Air pada Bahan Pangan yang Memiliki Aktivitas Air 0,8.

Bahan Pangan	Kadar Air
Kacang polong	16
Kasein	19
Pati kentang	20
Gliserol	108
Sorbitol	67

Sukrosa	56
Sodium klorida	332

(Sumber: Belitz *et. al.*, 2009)

Makanan dengan nilai  $a_w$  antara 0,6 dan 0,9 dikenal sebagai makanan kelembaban menengah (*Intermediate Moisture Foods/IMF*). Salah satu upaya untuk mengurangi aktivitas air untuk meningkatkan umur simpan bahan pangan adalah menggunakan zat aditif dengan kapasitas pengikat air yang tinggi seperti humektan. Zat aditif yang berpotensi sebagai humektan adalah garam-garam netral (natrium klorida dan kalium klorida), gliserol, sorbitol dan sukrosa. Namun, zat aditif yang digunakan sebagai pemanis ada kemungkinan tidak dapat diterima oleh konsumen dalam konsentrasi tertentu untuk mengatur aktivitas air bahan pangan tersebut.

Tabel 8.

Kadar Air Beberapa Zat Aditif Pengikat Air Pada Aktivitas Air 0,8.

Zat Aditif	Kadar Air (%)
Kacang polong	16
Kasein	19
Pati kentang	20
Gliserol	108
Sorbitol	67
Sakarosa	56
Sodium klorida	332

(Sumber : Belitz *et. al.*, 2009)

Umumnya stabilitas dan keamanan bahan pangan dapat diprediksi jauh lebih baik menggunakan aktivitas air daripada menggunakan kadar air. Meski demikian,  $a_w$  bukanlah prediktor yang sepenuhnya dapat diandalkan. Aktivitas air berkorelasi cukup signifikan dengan laju pertumbuhan mikroba dan laju reaksi degradatif menjadikannya indikator yang berguna untuk stabilitas produk yang potensial dan berkaitan pula dengan aktivitas mikroorganisme.

Tabel 9.

Potensi Pertumbuhan Mikroorganisme dalam Bahan Pangan pada Berbagai Kisaran Aktivitas Air.

Kisaran $a_w$	Mikroorganisme yang Umumnya Dihambat	Jenis Bahan Pangan
1,00-0,95	<i>Pseudomonas, Escherichia Proteus, Shigella, Klebsiella, Bacillus, Clostridium perfringens</i> , beberapa ragi	Bahan pangan segar yang mudah rusak, buah kaleng, sayur, daging, ikan, dan susu; sosis yang sudah dimasak dan roti; bahan pangan yang mengandung 7% (w/w) sodium klorida atau 40% sukrosa
0,95-0,91	<i>Salmonella, Vibrio parahaemolyticus, C. Botulinum, Serratia, Lactobacillus</i> , Beberapa jamur, ragi ( <i>Rhodotorula, Pichia</i> )	Beberapa keju (Cheddar, Swiss, Muenster, Provolone), daging yang di curing ( <i>ham</i> ), beberapa konsentrat jus buah, bahan pangan yang mengandung 12% (w/w) sodium klorida atau 55% sukrosa
0,91-0,87	Banyak ragi ( <i>Candida, Torulopsis, Hansenula, Micrococcus</i> )	Sosis fermentasi (salami), <i>sponge cakes</i> , keju kering, margarin, bahan pangan yang mengandung 15% (w/w) sodium klorida atau 65% sukrosa
0,87-0,80	Sebagian besar jamur (mycotoxigenic penicillia), <i>Staphylococcus aureus</i> , sebagian besar <i>Saccharomyces (bailii) spp., Debaryomyces</i>	Sebagian besar konsentrat jus buah, susu kental manis, sirup cokelat, sirup buah <i>maple</i> ; Tepung, beras, kacang-kacangan (kadar air 15-17%), <i>cake</i> buah, <i>ham, fondants</i> .
0,80-0,75	Sebagian besar bakteri halofilik, mycotoxigenic aspergilli	Selai, marmalade, marzipan, buah beku, beberapa <i>marshmallow</i>
0,75-0,65	Jamur xerofilik ( <i>Aspergillus chevalieri, A. candidus, Wallemia sebi</i> ) <i>Saccharomyces bisporus</i>	Gulungan oats dengan kadar air 10%, nougat berbutir, <i>fudge, marshmallows, jelly</i> , molase, gula tebu mentah, beberapa buah kering, kacang
0,65-0,60	Ragi Osmofilik ( <i>Saccharomyces rouxii</i> ); Beberapa Jamur ( <i>Aspergillus echinulatus, Monascus bisporus</i> )	Buah kering dengan kadar air 15-20%, madu, kopi dan karamel
0,60-0,50	Tidak ada proliferasi mikroba	Pasta dengan kadar air 12%, rempah-rempah dengan kadar air 10%
0,50-0,40	Tidak ada proliferasi mikroba	Telur bubuk dengan kadar air 5%
0,40-0,30	Tidak ada proliferasi mikroba	<i>Cookies, crackers</i> , kerak roti, dan bahan pangan lain dengan kadar air 3-5%

0,30-0,20	Tidak ada proliferasi mikroba	Susu bubuk murni (kadar air 2-3%); Sayuran kering (kadar air 5%); <i>Cornflake</i> (kadar air 5%), <i>cookies</i> , <i>crackers</i>
-----------	-------------------------------	---

(Sumber: Reid dan Fennema, 2007)

## 1.6 Memperpanjang Umur Simpan Bahan/ Produk Dengan Proses Pengeringan, Penguapan, Pembekuan dan Ozonisasi

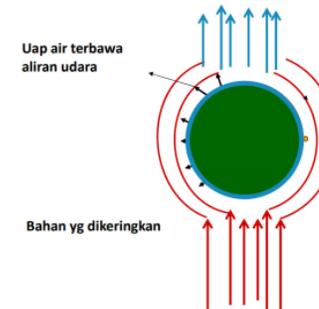
Untuk memperpanjang umur simpan suatu bahan pangan, sebagian air dalam bahan pangan harus dihilangkan dengan beberapa cara tergantung dari jenis bahan pangan. Pengeringan dan penyimpanan pada suhu rendah adalah salah satu metode tertua untuk pengawetan makanan dengan kadar air tinggi. Teknologi makanan modern mencoba mengoptimalkan metode ini. Suatu produk harus dikeringkan atau dibekukan hanya cukup lama untuk memastikan kualitas yang sehat untuk jangka waktu tertentu.

### 1.6.1 Pengeringan

Pengeringan merupakan suatu cara untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari dalam bahan pangan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam bahan pangan menggunakan energi panas. Pengeringan dapat mengeluarkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkannya hingga kadar air di dalam bahan tersebut dikurangi sampai batas kesetimbangan dengan kondisi udara normal atau kadar air yang setara dengan nilai aktifitas air yang aman dari kerusakan mikrobiologis, enzimatik dan kimiawi sehingga bahan pangan menjadi lebih awet, volumenya menjadi lebih kecil sehingga mempermudah dan menghemat ruang pengangkutan.

Prinsip pengeringan adalah penguapan air karena perbedaan tekanan udara antara udara dan bahan yang dikeringkan. Panas diberikan pada lapisan permukaan bahan yang dikeringkan dan selanjutnya panas

terdifusi ke dalam bahan secara konduktif. Air pada permukaan akan hilang dan air yang berada di dalam bahan pangan akan tertarik ke atas karena adanya gaya kapiler pada air akibat adanya perbedaan tekanan dan kemudian menguap dan dibawa oleh udara pengering.



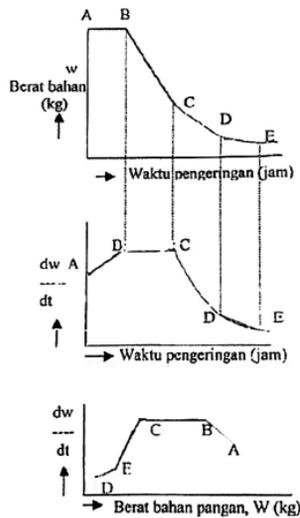
Gambar 26. Proses Pindah Panas Pada Proses Pengeringan.

Proses ini dipengaruhi oleh kondisi eksternal yaitu suhu, kelembaban, kecepatan dan tekanan udara panas kondisi internal seperti kadar air, bentuk/geometri, luas permukaan dan keadaan fisik bahan. Setiap kondisi yang berpengaruh di atas dapat menjadi faktor pembatas laju pengeringan.

Pada proses pengeringan bahan pangan terdapat 2 tingkat kecepatan penghilangan air. Pada awal pengeringan, kecepatan jumlah air yang hilang per satuan waktu tetap, kemudian akan terjadi penurunan kecepatan penghilangan air per satuan waktu. Kondisi ini berhubungan dengan jenis air yang terikat dalam bahan pangan yang dikeringkan.

Tahap pengeringan dapat dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. Tahap penyesuaian akibat adanya pemanasan pada bahan sampai terjadi penguapan (garis AB).
2. Tahap kecepatan pengeringan konstan (garis BC).
3. Tahap kecepatan pengeringan menurun pertama (garis CD).
4. Tahap kecepatan pengeringan menurun kedua (garis DE).



Gambar 27. Pengeringan Bahan Pangan Basah Pada Suhu dan Kelembaban Konstan.  
(Sumber: Effendi, 2009)

Pada saat terjadi pengurangan kecepatan pengeringan dan migrasi, zat padat terlarut ke permukaan bahan pangan akan menyebabkan permukaan bahan pangan tersebut menjadi keras dan terbakar yang disebut dengan *case hardening*. *Case hardening* terjadi apabila penguapan air di permukaan bahan lebih cepat dari difusi air di dalam bahan pangan akibat suhu yang digunakan pada saat pengeringan terlalu tinggi sehingga air di dalam bahan pangan tersebut tidak kering. Air di dalam bahan pangan tersebut akan kering secara merata bila dikeringkan pada suhu yang diatur dari tinggi ke rendah.

Macam-macam pengeringan berdasarkan medianya adalah pengeringan sinar matahari dan pengeringan buatan.

## 1. Pengeringan Sinar Matahari

Pengeringan sinar matahari dikenal juga dengan pengeringan alam atau dengan penjemuran, yaitu dengan menggunakan bahan-bahan yang disediakan alam seperti angin dan sinar matahari. Penjemuran adalah pengeringan menggunakan energi langsung dari sinar matahari. Pengeringan dengan sinar matahari memang bisa efektif dengan suhu sekitar 35°C sampai 45°C.



Gambar 28. Tomat Iris yang Dikeringkan Menggunakan Sinar Matahari  
(Sumber: researchgate.net)

Penggunaan sinar matahari kadang kurang menguntungkan karena kondisi cuaca yang bisa berubah-ubah. Pengeringan menggunakan sinar matahari umumnya digunakan pada padi, ikan asin, pembuatan dendeng dan sebagainya. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dapat digunakan dengan pengeringan *Green House*.

## 2. Pengeringan Green House

Pengeringan didefinisikan sebagai proses perpindahan massa secara bersamaan karena panas dan kelembaban (RH). Merupakan metode tradisional pengawetan makanan pada buah-buahan, sayuran, ikan, biji-bijian dan produk pertanian lainnya. Laju pengeringan tergantung pada parameter eksternal (radiasi matahari, suhu lingkungan, kece-

patan angin dan kelembaban relatif) dan parameter internal (kadar air awal, jenis bahan yang dikeringkan, absorbtivitas bahan). Pengeringan di bawah sinar matahari terbuka menggunakan radiasi matahari untuk pengawetan makanan dipraktikkan sejak zaman kuno. Salah satu aplikasi penting dari energi surya adalah pengeringan hasil pertanian, buah-buahan, sayuran, ikan, produk makanan. Hampir 80% petani mengadopsi pengeringan untuk menangani hasil pertaniannya. Pengeringan melibatkan fenomena perpindahan panas dan massa di mana energi panas dipasok ke permukaan produk digunakan dalam dua cara:

1. Untuk meningkatkan suhu permukaan produk dalam bentuk panas sensibel
2. Untuk menguapkan uap air yang ada dalam produk melalui penyediaan panas laten penguapan.

Penghilangan uap air dari bagian dalam produk terjadi karena perbedaan tekanan uap yang diinduksi antara produk dan media sekitarnya. Kelembaban dari interior berdifusi ke permukaan produk untuk mengisi kembali kelembaban di sekitarnya yang menguap. Radiasi matahari yang jatuh ke permukaan sebagian dipantulkan dan sebagian diserap. Radiasi yang diserap dan udara di sekitarnya memanaskan permukaan. Sebagian dari panas ini digunakan untuk menguapkan uap air dari permukaan ke udara sekitarnya. Bagian dari panas ini hilang melalui radiasi panjang gelombang ke atmosfer dan melalui konduksi ke tanah.

Namun kerugian yang cukup besar dapat terjadi karena kotoran, debu, serangga dan mikroorganisme, hewan, burung. Teknik canggih pengeringan rumah kaca diperkenalkan di negara berkembang untuk mengurangi kehilangan hasil panen dan meningkatkan kualitas produk secara signifikan dibandingkan dengan metode pengeringan matahari terbuka. Rumah kaca adalah struktur tertutup yang memiliki dinding transparan dan atap, terbuat dari kaca, film polietilen dan bahan

lainnya. Cara kerja pengeringan rumah kaca: produk ditempatkan dalam nampan yang menerima radiasi matahari melalui penutup plastik dan kelembaban dihilangkan dengan konveksi alami atau konveksi secara paksa.

Teknologi rumah kaca secara signifikan meningkatkan kualitas produk dan mengurangi waktu pengeringan. Oleh karena itu, metode pengeringan lanjutan yaitu pengeringan rumah kaca harus diadopsi untuk mengatasi keterbatasan metode pengeringan tradisional menggunakan matahari yang dilakukan secara terbuka.

Secara prinsip yang terjadi pada pengering rumah kaca sebagai berikut: suhu yang lebih panas di dalam rumah kaca terjadi karena masuknya radiasi matahari melewati atap dan dinding transparan kemudian diserap oleh lantai, tanah, dan bahan pangan yang dikeringkan, sehingga menjadi lebih panas. Udara yang dipanaskan tidak dapat keluar melalui konveksi, sehingga suhu di dalam rumah kaca meningkat, karena strukturnya tidak terbuka ke atmosfer.

Pengering tipe rumah kaca (*greenhouse type dryer*) adalah pengering yang menggunakan prinsip efek rumah kaca dalam melakukan pengeringan. Pengering ini menahan panas yang diterima karena radiasi sinar matahari di dalam ruang pengering. Pengering tipe rumah kaca sangat menguntungkan untuk frekuensi hujan pertahun yang tinggi serta memiliki kadar kelembaban udara yang tinggi pula, karena pengeringan secara konvensional sulit dilakukan pada tipe daerah tersebut. Kondisi ini disebabkan semakin tinggi nilai kelembaban udara, maka akan semakin sedikit nilai laju penguapan yang terjadi. Pengering tipe rumah kaca ini menggunakan plastik *polyethylene* sebagai penutup dari pengering. Sementara itu bagian dalam pengering ini mempunyai bentuk bertingkat.

Alat pengering *Green House* dibuat dalam bentuk rak-rak dengan tujuan agar memiliki daya tampung pengeringan yang banyak. Pada bagian pintu terdapat lubang sebagai tempat pengeluaran uap air. Tujuannya agar uap air yang terbentuk saat proses pengeringan dapat

segera keluar dari alat. Peralatan ini berbentuk seperti sebuah ruangan tertutup dengan dinding transparan. Dengan tertutupnya alat ini, maka dapat menghindari adanya kontaminasi yang berasal dari lingkungan di sekitarnya. Pada bagian bawah alat akan ditempatkan sebuah kolektor panas berbentuk persegi panjang yang dicat dengan warna hitam. Tujuannya untuk mengalirkan panas ke dalam ruang pengering, sedangkan penggunaan warna hitam agar lebih tinggi penyerapan panasnya.

Secara umum keuntungan alat pengering *green house* sebagai berikut:

1. Penggunaan sumber energi terbarukan, yang mengurangi biaya pengeringan.
2. Pengering rumah kaca memiliki kualitas produk yang lebih baik dari pada pengeringan dengan sinar matahari terbuka.
3. Pengeringan rumah kaca mengurangi kadar air dalam waktu yang sangat singkat dibandingkan dengan pengeringan dengan sinar matahari terbuka.
4. Selain itu juga memiliki kelebihan yaitu bahan yang akan dikeringkan terlindung dari debu dan hujan.



Gambar Rancangan Alat *Green House* yang Dirancang oleh Penulis Digunakan untuk Pengeringan Kerupuk Bagi Usaha Kecil Menengah di Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat.

### 3. Pengeringan Buatan atau Mekanis

Pengeringan buatan atau mekanis dapat menggunakan udara yang dipanaskan. Alat pengering ini berupa suatu ruang atau kabinet dengan udara panas yang ditiupkan di dalamnya. Udara yang dipanaskan tersebut dialirkan pada bahan yang akan dikeringkan dengan menggunakan alat penghembus fan (kipas). Pengeringan dengan menggunakan alat mekanis atau pengeringan dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan, tidak memerlukan tempat yang luas, serta kondisi pengeringan yang dapat dikontrol.

Pengeringan buatan secara umum mempunyai 3 tipe alat, yaitu:

#### 1. Alat Pengering Langsung

Perpindahan panas yang terjadi pada alat jenis ini yaitu secara konveksi. Pada alat pengering langsung, pemindahan udara panas terjadi secara langsung pada bahan yang akan dikeringkan. Contoh alat pengering langsung adalah *spray dryer*, *cabinet dryer* dan *tunnel dryer*.

##### a. *Spray Dryer*

*Spray drying* (pengering semprot) adalah metode pengeringan yang menghasilkan serbuk/bubuk kering dari cairan atau bubur dengan pengeringan cepat menggunakan udara panas. Metode pengeringan ini banyak digunakan untuk bahan yang sensitif terhadap panas seperti makanan dan obat-obatan. Distribusi ukuran partikel yang konsisten adalah alasan untuk pengeringan semprot beberapa produk industri. Udara merupakan media pengering yang dipanaskan. Namun, jika cairan tersebut adalah pelarut yang mudah terbakar seperti etanol atau produknya sensitif terhadap oksigen, maka digunakan nitrogen. Semua pengering semprot menggunakan beberapa jenis alat penyemprot atau nosel untuk menyebarkan cairan atau bubur.



Gambar 29. Alat *Spray Dryer*.  
(Sumber: *food-drying-machine.com*; Tetra Pak®)

Alat *spray dryer* mengalirkan cairan dan memisahkan zat terlarut atau suspensi sebagai padatan dan pelarut menjadi uap. Padatan biasanya dikumpulkan dalam drum atau siklon. Cairan disemprotkan melalui nosel ke dalam aliran uap panas dan diuapkan. Padatan terbentuk karena kelembaban dengan cepat meninggalkan tetesan. Nosel biasanya digunakan untuk membuat tetesan sekecil mungkin, memaksimalkan perpindahan panas dan laju penguapan air. Ukuran tetesan dapat berkisar dari 20  $\mu\text{m}$  hingga 180  $\mu\text{m}$  tergantung pada nosel. Ada dua jenis nosel utama: nosel fluida tunggal bertekanan tinggi (50 hingga 300 bar) dan nosel dua fluida. Satu fluida adalah cairan untuk mengering dan yang kedua adalah gas terkompresi (umumnya udara pada 1 hingga 7 bar).

*Spray dryer* dapat mengeringkan produk dengan sangat cepat dibandingkan dengan metode pengeringan lainnya. Alat ini juga mengubah larutan (atau bubur) menjadi bubuk kering dalam satu langkah, yang menyederhanakan proses dan meningkatkan margin keuntungan. *Spray dryer* sering

digunakan sebagai teknik enkapsulasi oleh industri pangan dan industri lainnya. Zat yang akan dienkapsulasi (beban) dan pembawa *amphipathic* (biasanya semacam pati yang dimodifikasi) dihomogenisasi sebagai suspensi dalam air (bubur). Bubur kemudian dimasukkan ke dalam alat *Spray dryer*, biasanya menara yang dipanaskan hingga suhu di atas titik didih air. Bubur yang memasuki menara tersebut akan diatomisasi. Sebagian karena tegangan permukaan air yang tinggi dan sebagian lagi karena interaksi hidrofobik/hidrofilik antara pembawa *amphipathic*, air. Bubur yang diatomisasi membentuk misel. Ukuran kecil tetesan (rata-rata diameter 100 mikrometer) menghasilkan luas permukaan yang relatif besar yang cepat kering. Saat air mengering, pembawa membentuk cangkang yang mengeras di sekitarnya.

Aplikasi penggunaan *spray dryer* untuk pangan di antaranya adalah: susu bubuk, kopi, teh, telur, sereal, rempah-rempah, perasa, pati dan turunannya, vitamin, enzim, stevia, nutrisi, pewarna, pakan ternak dan lain-lain.

b. *Cabinet Dryer*

Pengering kabinet sejauh ini merupakan jenis pengering yang paling umum digunakan pada industri karena relatif murah. Alat ini ditemukan hampir di setiap industri yang melakukan pengeringan berbagai produk. Pada alat pengering kabinet, bahan disimpan di atas baki yang tergantung pada jumlah bahan yang dibutuhkan untuk diproses atau troli yang dimasukkan ke dalam ruang pengering. Pintunya tertutup menggunakan sistem segel. Baki yang digunakan ada yang memiliki alas yang padat atau berlubang, tergantung pada distribusi ukuran bahan. Pembawa (biasanya udara) ditarik masuk melalui saluran masuk atau saluran daur ulang ke dalam kompartemen

pemanas. Udara dipanaskan hingga suhu yang dibutuhkan di wilayah ini, kemudian didistribusikan dari sisi ke sisi (aliran silang) atau dari bawah ke atas dalam gerakan melingkar sesuai dengan persyaratan pengeringan.

Gaya penggerak untuk pergerakan udara biasanya adalah kipas. Kipas menghisap udara melalui ruang pemanas dan menghembuskannya ke seluruh baki, yang bertindak sebagai saluran atau saluran untuk mengarahkan udara. Saluran masuk udara segar terletak di sisi dan biasanya memiliki peredam yang memungkinkan udara daur ulang dapat dikontrol. Daur ulang ini meningkatkan efisiensi unit operasi, menghemat energi dalam aliran gas. Pengering kabinet tersedia dalam berbagai ukuran dan mungkin memiliki banyak kipas pada unit yang lebih besar. Mungkin juga ada lebih dari satu kompartemen pemanas. Unit dapat dipanaskan dengan listrik, memiliki sumber panas gas atau menggunakan sumber panas tidak langsung seperti uap atau minyak termal. Pengering kabinet dapat mengeringkan semua jenis umpan dari cairan, slurry hingga butiran dan padatan.



Gambar 30. Alat *Cabinet Dryer* Hasil Karya Mahasiswa Jurusan Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung.

c. Tunnel Dryer (pengering terowongan)

*Tunnel dryer* (pengering terowongan) adalah alat dimana wadah (baki) berisi bahan ditempatkan di atas troli atau bahan dimuat langsung ke troli. Troli didorong masuk dari pintu masuk ruang terowongan. Bahan tersebut dikeringkan sambil dipindahkan melalui ruang pengering. Berbagai metode aliran udara tersedia untuk pengering terowongan, seperti aliran udara horizontal, udara vertikal, dan udara bolak-balik yang dipilih berdasarkan berbagai faktor seperti sifat material dan kondisi pengeringan.

Bahan yang akan dikeringkan diumpukan dari satu ujung dalam terowongan yang dipanaskan dengan udara untuk dikeringkan dan dikumpulkan dari ujung lainnya. Nama *tunnel* diambil karena konstruksinya yang menyerupai terowongan. Pada pengering terowongan berdasarkan pemilihan teknologi, proses pengeringan dapat diselesaikan saat transfer material melalui terowongan. Sumber pemanas dapat berupa 1) Sirkulasi udara panas 2) Inframerah 3) Gelombang mikro atau 4) Frekuensi radio.

*Tunnel dryer* biasanya digunakan untuk pengeringan yang menggunakan udara panas, namun kemajuan dalam teknologi pemanas telah memungkinkan pengering terowongan dengan teknik pengeringan yang canggih dan lebih cepat seperti *microwave*/Inframerah. Biasanya terowongan terdiri dari pintu di salah satu ujung yang dibuka sebagai penutup ketika bahan akan diumpukan. Troli didorong atau dilalui dalam terowongan, kemudian pintu ditutup dan udara panas disirkulasikan di dalam terowongan dengan bantuan kipas. Pada saat penyelesaian proses pengeringan gerbang outlet terbuka dan bahan dikumpulkan. Pergerakan udara, sirkulasi, dan metode

pemanasan bervariasi dalam pengering terowongan. Tiga susunan berbeda, yaitu aliran balik, aliran paralel, dan aliran gabungan.

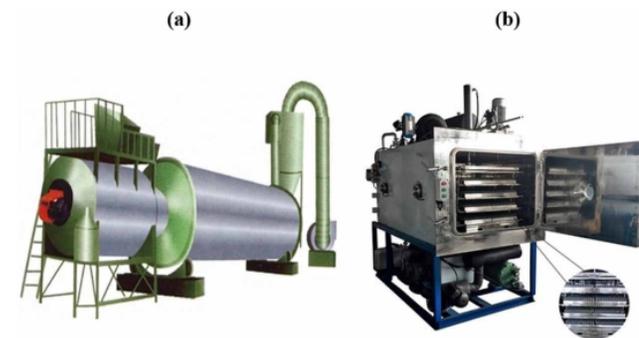
Aplikasi *Tunnel Dryer* (pengering terowongan): pengeringan Buah dan Sayuran, sterilisasi wadah dan bahan pengemas, pengeringan buah segar, umbi-umbian, sayuran dan telur, pengeringan kembang gula dan lain-lain.



Gambar 31. Alat Pengering *Tunnel Dryer* (pengering terowongan) yang terdapat di Jurusan Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung.

## 2. Alat Pengering Tak Langsung

Perpindahan panas yang terjadi pada alat jenis ini yaitu secara konduksi. Pada alat pengering tak langsung, pemindahan panas berhubungan dengan medium padat, dimana uap yang terjadi dikeluarkan secara terpisah dari medium pengering. Contoh alat pengering tak langsung yaitu *drum dryer* dan *freeze dryer*.



Gambar 32. (a) Drum Dryer dan (b) Freeze Dryer.

(Sumber: *alibaba.com*)

Pengeringan beku dimulai sejak tahun 1890 oleh Richard Altmann yang menemukan metode untuk membekukan jaringan kering (baik tumbuhan atau hewan), tetapi hampir tidak diketahui sampai tahun 1930-an. Pada tahun 1909, Shackell secara mandiri menciptakan ruang vakum dengan menggunakan pompa listrik. Tidak ada informasi pengeringan beku lebih lanjut yang didokumentasikan sampai Tival pada tahun 1927 dan Elser pada tahun 1934 telah mematenkan sistem pengeringan beku dengan perbaikan pada langkah pembekuan dan kondensor. Titik balik yang signifikan untuk pengeringan beku terjadi selama Perang Dunia II. Plasma darah dan penisilin dibutuhkan untuk mengobati luka di medan pertempuran. Banyak persediaan serum rusak sebelum mencapai penerima, karena kurangnya transportasi berpendingin. Proses pengeringan beku dikembangkan sebagai teknik komersial yang memungkinkan plasma darah dan penisilin menjadi stabil secara kimiawi dan layak tanpa pendinginan. Pada tahun 1950-an-1960-an, pengeringan beku

mulai dipandang sebagai alat serbaguna untuk farmasi dan pengolahan makanan.

Pengeringan beku juga dikenal sebagai *lyophilisation* atau *cryodesiccation* adalah proses dehidrasi suhu rendah yang melibatkan pembekuan produk, menurunkan tekanan, kemudian menghilangkan es dengan cara sublimasi. Hal ini berbeda dengan dehidrasi dengan metode konvensional yang menguapkan air menggunakan panas, karena suhu rendah yang digunakan pada pengolahan sehingga kualitas produk rehidrasi sangat baik dan bentuk asli produk tetap terjaga. Aplikasi utama pengeringan beku termasuk biologis (misalnya, bakteri dan ragi), biomedis (misalnya, transplantasi bedah), pemrosesan makanan (misalnya, kopi) dan pengawetan.

Tahapan pengeringan beku terdiri dari empat, yaitu:

- a. Perlakuan awal
- b. Pembekuan
- c. Pengeringan primer
- d. Pengeringan sekunder.

Perlakuan awal mencakup semua metode penanganan produk sebelum dibekukan, diantaranya revisi formulasi (penambahan komponen untuk meningkatkan stabilitas, mempertahankan penampilan atau memperbaiki proses pengolahan), mengurangi pelarut bertekanan uap tinggi, atau menambah luas permukaan. Dalam banyak kasus, keputusan untuk melakukan *pre-treatment* suatu produk didasarkan pada pengetahuan teoritis tentang pengeringan beku dan persyaratannya.

Selama tahap pembekuan, material didinginkan di bawah titik tripelnya, suhu terendah dimana fase padat, cair dan gas dari material terdapat secara bersamaan. Untuk memfasilitasi pengeringan beku yang lebih cepat dan efisien, kristal es yang

lebih besar lebih disukai. Kristal es yang besar membentuk jaringan di dalam produk yang mendorong penguapan uap air lebih cepat selama sublimasi. Untuk menghasilkan kristal yang lebih besar, produk harus dibekukan secara perlahan atau dapat didaur ulang dengan suhu naik dan turun. Fase pembekuan adalah yang paling penting dalam keseluruhan proses pengeringan beku, karena metode pembekuan dapat mempengaruhi kecepatan pemulihan, durasi siklus pengeringan beku, stabilitas produk, dan kristalisasi yang sesuai.

Pada bahan yang dibekukan untuk tujuan pengawetan, seperti makanan atau benda dengan sel yang hidup, kristal es yang besar akan menghancurkan dinding sel yang dapat mengakibatkan tekstur yang semakin buruk dan hilangnya kandungan nutrisi. Dalam kasus ini, pembekuan dilakukan dengan cepat dengan tujuan untuk menurunkan material ke bawah titik eutektiknya dengan cepat, sehingga menghindari pembentukan kristal es yang besar. Umumnya suhu beku berada antara  $-50^{\circ}\text{C}$  ( $-58^{\circ}\text{F}$ ) dan  $-80^{\circ}\text{C}$  ( $-112^{\circ}\text{F}$ ).

Selama fase pengeringan primer, tekanan diturunkan ke kisaran beberapa milibar dan panas yang cukup akan disuplai ke material agar es menyublim. Jumlah panas yang diperlukan dapat dihitung dengan menggunakan panas laten molekul sublimasi. Pada fase pengeringan awal ini, sekitar 95% air pada bahan akan disublimasi. Fase ini berjalan lambat beberapa hari (di industri), karena jika terlalu banyak panas yang ditambahkan maka struktur bahan dapat berubah. Dalam fase ini, tekanan dikontrol melalui penerapan vakum parsial. Vakum mempercepat sublimasi yang berguna sebagai proses pengeringan. Selanjutnya, ruang pendingin kondensor menyediakan permukaannya untuk uap air mencair kembali dan mengeras.

Fase pengeringan sekunder bertujuan untuk menghilangkan molekul air yang tidak membeku, karena es telah dihilangkan pada fase pengeringan primer. Bagian dari proses pengeringan beku ini diatur oleh isoterm adsorpsi material. Dalam fase ini, suhu dinaikkan lebih tinggi dari pada fase pengeringan primer dan bahkan bisa di atas 0°C (32°F), untuk memutus interaksi fisika-kimiawi yang telah terbentuk antara molekul air dan bahan beku. Biasanya tekanan juga diturunkan pada tahap ini untuk mendorong desorpsi (biasanya dalam kisaran mikrobar atau fraksi pascal). Namun, ada produk yang mendapat manfaat dari peningkatan tekanan juga. Setelah proses pengeringan beku selesai, ruang hampa biasanya dipecah dengan gas inert, seperti nitrogen sebelum bahan ditutup rapat. Di akhir operasi, kadar air sisa akhir dalam produk sangat rendah, sekitar 1% hingga 4%.

Pengeringan beku menyebabkan lebih sedikit kerusakan pada bahan dibandingkan metode dehidrasi lain yang menggunakan suhu lebih tinggi. Kandungan nutrisi yang sensitif terhadap panas akan hilang sedikit dibandingkan dengan proses yang menggabungkan perlakuan panas untuk tujuan pengeringan. Pengeringan beku biasanya tidak menyebabkan penyusutan atau pengerasan bahan yang dikeringkan. Selain itu, rasa, bau, dan kandungan nutrisinya umumnya tetap tidak berubah yang menjadikan proses tersebut sangat populer digunakan untuk mengawetkan makanan. Namun, air bukan satu-satunya bahan kimia yang mampu menyublim. Hilangnya senyawa volatil lainnya seperti asam asetat (cuka) dan alkohol dapat menghasilkan hasil yang tidak diinginkan. Produk kering beku dapat dihidrasi kembali (dibentuk kembali) jauh lebih cepat dan mudah, karena proses tersebut meninggalkan pori-pori mikroskopis. Pori-pori dibuat oleh kristal es yang menyublim, meninggalkan celah atau pori-pori di tempatnya.

Pengeringan beku juga dapat digunakan untuk meningkatkan umur simpan obat-obatan selama bertahun-tahun.

Tujuan utama pengeringan beku dalam industri makanan adalah untuk memperpanjang umur simpannya dengan tetap menjaga kualitas. Pengeringan beku dikenal menghasilkan makanan dengan kualitas terbaik diantara semua teknik pengeringan karena integritas struktural dan rasa dapat dipertahankan. Sehubungan biaya operasional pengeringan beku ini mahal, maka digunakan terutama untuk produk pangan yang bernilai tinggi. Contoh produk kering beku bernilai tinggi adalah buah dan sayuran musiman karena ketersediaannya yang terbatas dan juga makanan yang digunakan untuk militer dan astronot. Makanan kering dalam jumlah yang lebih banyak dapat dibawa dibandingkan dengan makanan basah yang beratnya sama. Sebagai pengganti makanan basah, makanan kering yang dibekukan dapat dengan mudah dihidrasi kembali dengan air jika diinginkan dan masa simpan produk kering lebih lama dari produk segar/basah sehingga ideal untuk perjalanan jauh yang dilakukan oleh turis, personel militer, atau astronot. Perkembangan pengeringan beku meningkatkan variasi makanan dan camilan untuk memasukkan item seperti koktail udang, ayam dan sayuran, puding dan saus apel.

Kopi mengandung kualitas rasa dan aroma yang tercipta karena reaksi Maillard selama pemanggangan dan dapat diawetkan dengan pengeringan beku. Dibandingkan dengan metode pengeringan lain seperti pengeringan suhu kamar, pengeringan udara panas, dan pengeringan matahari, biji kopi Robusta yang dikeringkan dengan pembekuan mengandung lebih banyak asam amino esensial seperti leusin, lisin, dan fenilalanin, sedikit asam amino non-esensial yang secara signifikan berkontribusi mempertahankan rasa. Dengan dehidrasi konvensional, kualitas buah beri dapat menurun karena

strukturnya sangat halus dan mengandung tingkat kelembaban yang tinggi. Stroberi memiliki kualitas terbaik saat dikeringkan dengan pembekuan yaitu mempertahankan warna, rasa, dan kemampuannya untuk kembali terhidrasi.

### 3. Alat Pengering Infra Merah

Pengeringan merupakan metode pengawetan makanan tertua dan menjadi salah satu proses yang paling umum digunakan untuk meningkatkan stabilitas makanan, karena ini menurunkan aktivitas air dari produk, mengurangi aktivitas mikrobiologis dan meminimalkan perubahan fisik dan kimia selama penyimpanan. Selain konservasi nutrisi, vitamin, dan mineral, metode ini memungkinkan meminimalkan biaya transportasi. Pengeringan inframerah adalah metode dehidrasi yang efektif. Energi radiasi infra merah ditransfer dari elemen pemanas ke permukaan bahan pangan tanpa memanaskan udara di sekitarnya. Radiasi mengenai bahan yang terbuka dan menembusnya, yang kemudian diubah menjadi panas. Pada saat pengeringan daya serap bahan yang dikeringkan menurun serta reflektifitas dan transmisivitasnya meningkat, karena kandungan air yang menurun di dalamnya. Daya serap dan transmisivitas tergantung pada densitas dan panjang gelombang pemanasan infra merah serta sifat bahan yang diradiasi. Keuntungan radiasi infra merah meliputi koefisien perpindahan panas yang tinggi, waktu pengeringan yang singkat dan pengaturan suhu material yang mudah. Kinetika pengeringan tergantung pada densitas dan panjang gelombang radiasi, jarak antara pemancar energi infra merah dan permukaan bahan yang disinari panas serta kecepatan udara. Umumnya kinetika pengeringan meningkat seiring dengan peningkatan suhu material dan penurunan kelembaban relatif pada media pengering. Namun, suhu pengeringan tidak boleh terlalu tinggi, karena dapat menyebabkan degradasi fitokimia.

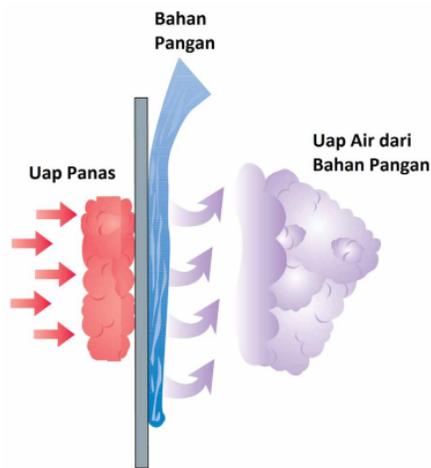
Penurunan ukuran bahan yang dikeringkan juga mengurangi lamanya pengeringan.



Gambar 33. Alat Pengering Infra Merah.  
(Sumber: [schuettgut-portal.com](http://schuettgut-portal.com))

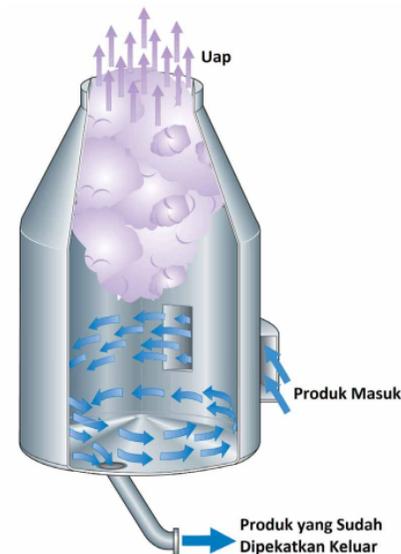
### 1.6.2 Penguapan

Penguapan (evaporasi) adalah suatu proses untuk memekatkan suatu bahan pangan dengan menurunkan kandungan air yang berbentuk cairan menggunakan panas. Proses penguapan merupakan proses yang melibatkan proses perpindahan panas dan perpindahan massa secara simultan. Penguapan terjadi karena cairan mendidih dan terjadi perubahan fase dari cair menjadi uap. Dalam proses penguapan, sebagian air akan diuapkan sehingga akan memperoleh suatu bentuk kental yang disebut dengan konsentrat.



Gambar 34. Prinsip Penguapan.  
(Sumber: Tetra Pak®)

Pada industri pangan, penguapan umumnya digunakan untuk pengentalan awal suatu bahan pangan dengan kadar air tinggi sebelum dilakukan proses pengolahan selanjutnya. Selain itu, penguapan dilakukan untuk memperpanjang umur simpan dari bahan pangan dimana dengan adanya proses penguapan akan menurunkan aktivitas air ( $a_w$ ) dengan menguapkan sebagian pelarut dan meningkatkan kandungan bahan padat dalam bahan pangan sehingga mikroorganisme pembusuk tidak dapat tumbuh dengan baik.



Gambar 35. Aliran Produk dalam Evaporator.  
(Sumber: Tetra Pak®)

Contoh penerapan proses penguapan yaitu pada produk susu kental manis. Pembuatan susu kental manis pada prinsipnya adalah mengurangi kandungan air dengan cara dehidrasi. Susu kental manis dibuat dengan cara menguapkan sebagian air dari susu segar (50%) kemudian ditambah dengan gula 45%-50%. Untuk meminimalkan kerusakan akibat suhu panas pada produk, proses penguapan umumnya dilakukan dalam kondisi vakum pada tekanan 160-320 hPa, setara dengan suhu didih air yang sekitar 55°C -70°C.

Faktor dasar yang mempengaruhi laju penguapan adalah:

- Laju perpindahan panas ke cairan.
- Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan setiap kg air.
- Suhu maksimum cairan yang ditetapkan.

- Tekanan dimana penguapan terjadi.
- Perubahan yang mungkin terjadi pada bahan makanan selama proses penguapan.

Dianggap sebagai bagian dari proses di industri, evaporator memiliki dua fungsi utama, yaitu untuk transfer panas dan memisahkan uap yang terbentuk dari zat cair. Pertimbangan praktis yang penting dalam evaporator adalah:

- Suhu maksimum yang diperbolehkan yaitu jauh di bawah 100°C.
- Sirkulasi cairan melintasi permukaan perpindahan panas, untuk mencapai koefisien perpindahan panas yang cukup tinggi dan mencegah panas berlebih lokal,
- Viskositas fluida yang sering meningkat secara substansial dengan meningkatnya konsentrasi bahan terlarut,
- Kecenderungan untuk berbusa yang membuat pemisahan cairan dan uap menjadi sulit.

Penguapan digunakan sangat banyak dalam memusatkan jus buah dan sayuran, susu, ekstrak kopi, gula rafinasi, dan garam.

### 1.6.3 Pembekuan

Pembekuan merupakan penyimpanan bahan pangan menggunakan suhu dibawah titik beku untuk memperpanjang umur simpan dan membantu proses pembuatan produk pangan seperti es krim. Pengawetan beku diakui sebagai salah satu metode terbaik untuk pengawetan bahan pangan dalam jangka panjang. Pembekuan dapat memperlambat pertumbuhan mikroorganisme dan mengurangi reaksi kimia yang terjadi dalam bahan dan produk pangan.



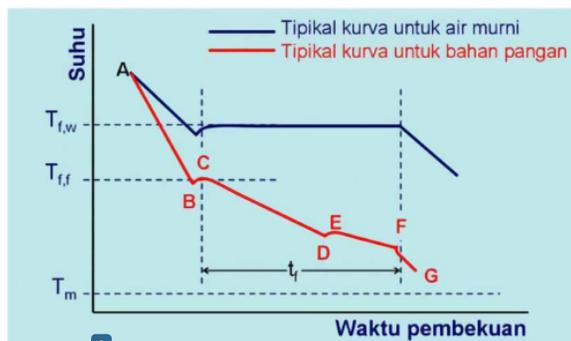
Gambar 36. (a) Buah dan Sayur, dan (b) Ikan Beku.  
(Sumber: eatthis.com; freshseafood.com)

Adanya proses pembekuan menyebabkan bakteri tidak tahan dan mati karena sebagian besar air dalam bahan pangan akan berubah menjadi es dan persediaan cairan untuk pertumbuhan bakteri sangat terbatas sehingga bakteri akan mengalami kesulitan untuk menyerap bahan pangan sehingga kehidupannya terganggu. Selain itu, cairan dalam sel akan membeku dan memecah dinding sel sehingga menyebabkan kematian bakteri.

Faktor utama dalam memberikan stabilitas jangka panjang adalah dengan suhu rendah dimana laju reaksi cenderung menurun karena suhu yang berkurang. Suhu dimana pada produk yang dibekukan mulai terjadi pembentukan kristal es disebut sebagai titik beku awal (*initial freezing point*) produk. Selama proses pembekuan, profil penurunan suhu pada produk pangan selama pembekuan berbeda dengan profil penurunan suhu yang terjadi pada proses pembekuan air murni. Jika selama proses pembekuan dilakukan pengukuran dan pencatatan suhu pada pusat produk pangan, maka akan diperoleh kurva pembekuan dengan karakteristik khas.

Secara umum, produk pangan mempunyai titik beku yang lebih rendah dari 0°C. Proses pembekuan produk dimulai dengan terjadinya *supercooling*, dimana untuk beberapa proses pembekuan produk

pangan bisa terjadi sampai sekitar 10°C dibawah titik beku. Setelah terjadi *supercooling*, proses pembekuan air menjadi es terus terjadi pada titik bekunya. Namun demikian, selama proses pembekuan terjadi penurunan titik beku produk (garis CD) yang disebabkan adanya peningkatan konsentrasi padatan pada fraksi produk yang belum beku. Proses ini terus berlangsung sampai sebagian besar air pada produk pangan telah berubah menjadi es. Proses ini akan berhenti ketika padatan (komponen pangan) menjadi super jenuh (*supersaturated*) dan mulai mengkristal. Panas laten kristalisasi dilepas dan suhu mulai meningkat (garis DE) mencapai suhu *eutectic* dari padatan tersebut. Pada saat ini (garis EF) proses krtalisasi air dan padatan terus berlanjut.



Gambar 37. Perbandingan kurva pembekuan air murni dan kurva pembekuan bahan pangan;  $t_f$  = waktu pembekuan,  $T_{f,w}$  = titik beku air murni,  $T_{f,f}$  = titik beku produk pangan,  $T_m$  = suhu medium pembekuan. (Sumber: Hariyadi, 2007)

Total waktu ( $t_f$ ) yang diperlukan untuk bergerak dari C-F (sering disebut sebagai daerah "*freezing plateau*") ditentukan oleh seberapa cepat laju pengambilan panas. Selanjutnya (garis FG)—suhu produk (yang merupakan campuran es-air) terus menurun mendekati suhu pembekuan ( $T_m$ ).

Pembentukan es dalam bahan pangan yang beku seperti pedang bermata dua. Ada dua konsekuensi negatif dari pembentukan es dalam bahan pangan. Pertama, komponen yang tidak berair menjadi terkonsentrasi dalam fase tidak beku dan yang kedua adanya peningkatan volume sekitar 9% pada saat proses transformasi dari air menjadi es.

Selama proses pembekuan, air berubah menjadi es dengan kemurnian yang tinggi. Oleh karena itu, zat terlarut dalam fase berair hidup berdampingan dengan penurunan jumlah air pelarut. Proses ini mirip dengan dehidrasi biasa hanya saja suhunya lebih rendah. Ketika proses pembekuan yang terkonsentrasi berlangsung, fase yang tidak beku berubah secara signifikan dalam sifat-sifatnya seperti pH, keasaman yang dapat dititrasi, kekuatan ionik, dan sebagainya. Jika zat terlarut mengkristal, rasio zat terlarut akan berubah dan pH dapat berubah secara nyata. Selain itu, gas yang terlarut pun dapat dikeluarkan.

Pada proses pembekuan yang terkonsentrasi lebih tinggi, makromolekul yang dipaksa menjadi berdekatan dapat berkumpul. Meskipun efek suhu adalah untuk mengurangi laju reaksi, namun laju reaksi keseluruhan terutama pada suhu semi beku yang tinggi dapat meningkat atau menurun lebih rendah dari yang diharapkan sebagai akibat dari reaktan yang teronsentrasi lebih tinggi yang dihasilkan dari pembekuan. Hal ini dapat terjadi meskipun jumlah total reaktan dalam bahan pangan tertentu tetap tidak berubah dari jumlah awal. Dibawah kondisi yang kompleks seperti itu, laju reaksi pada suhu semi beku tidak selalu sesuai dengan kinetika Arrhenius atau WLF (Williams-Landel-Ferry).

Tabel 10.

## Titik Beku Berbagai Bahan Pangan.

Jenis Bahan Pangan	Kadar Air (%)	Titik Beku (°C)
Sayur-sayuran	78-92	-0,8 sampai -2,8
Buah-buahan	87-95	-0,9 sampai -2,7
Daging	55-70	-1,7 sampai -2,2
Ikan	65-81	-0,6 sampai -2,0
Susu	87	-0,5
Telur	74	-0,5

(Sumber: Hariyadi, 2007)

Berdasarkan pada kecepatan pembekuannya, pembekuan dalam bahan pangan terdiri dari:

1. Pembekuan lambat (*slow freezing*)

Pembekuan lambat terjadi ketika makanan langsung ditempatkan di ruang pembekuan yang disebut *freezer* tajam. Dikenal juga sebagai pembekuan tajam. Metode ini melibatkan pembekuan melalui sirkulasi udara dengan konveksi yaitu melalui terowongan yang diisolasi khusus, baik secara alami atau dengan bantuan kipas. Udara yang relatif tenang merupakan konduktor panas yang buruk dan itulah alasan waktu yang lama untuk membekukan makanan. Temperatur berkisar dari  $-15^{\circ}\text{C}$  hingga  $-29^{\circ}\text{C}$  dan pembekuan dapat berlangsung dari 3 hingga 72 jam. Kristal es yang terbentuk berukuran besar dan ditemukan di antara sel-sel, yaitu ruang ekstra-seluler karena struktur makanannya terganggu. Struktur makanan tidak dipertahankan dan makanan yang telah dicairkan tidak dapat memperoleh kembali kandungan air aslinya. Kristal es besar menciptakan masalah kualitas seperti pada sayuran yang menjadi hancur/bubur dan dampak negatif lainnya. Pembekuan lambat membekukan suatu bahan pangan dengan laju pergerakan permukaan beku sekitar  $0.2\text{ cm/jam}$ .

## 2. Pembekuan cepat

Pada proses pembekuan cepat, bahan pangan akan beku dalam waktu 30 menit atau tidak boleh lebih dari 2 jam. Pembekuan cepat terdiri dari beberapa jenis yaitu:

a. *Quick freezing*

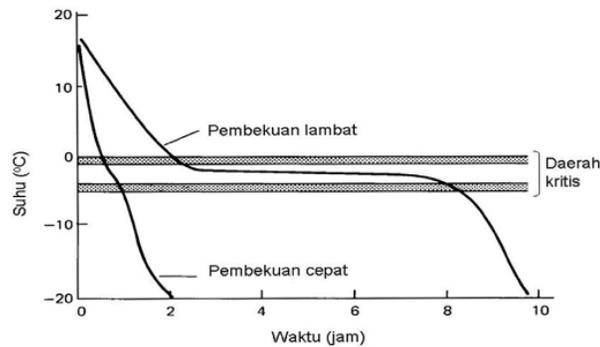
Sirkulasi udara dingin yang kuat memungkinkan pembekuan berlangsung dengan kecepatan sedang. Dalam proses ini, suhu dijaga antara  $-32^{\circ}\text{C}$  hingga  $-40^{\circ}\text{C}$  dan makanan mencapai tahap pembentukan kristal es maksimum dalam 30 menit atau kurang. Kristal es kecil terbentuk di dalam sel dan karenanya tidak merusak struktur makanan. Saat pencairan, struktur asli bahan yang dibekukan tetap dipertahankan. *Quick freezing* bisa dilakukan dengan menggunakan *air blast* dan *plate freezers*.

b. *Rapid freezing*

*Rapid freezing* membekukan bahan pangan dengan laju pergerakan permukaan beku sekitar  $5-10\text{ cm/jam}$ . *Rapid freezing* bisa dicapai dengan menggunakan *fluidized bed freezing*.

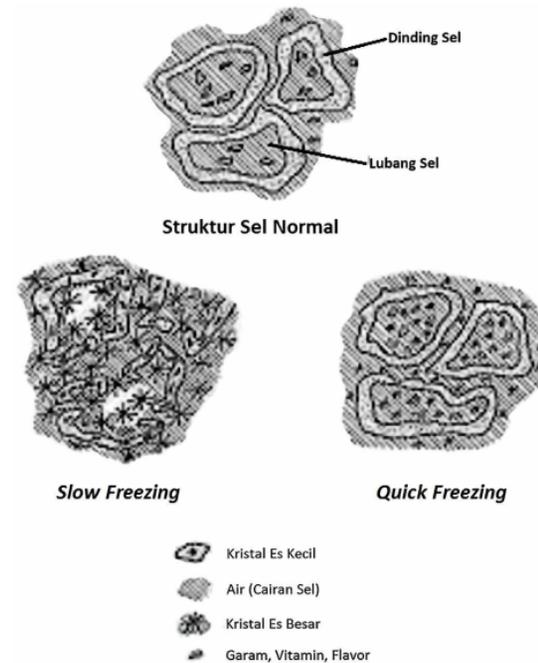
c. *Ultra rapid freezing*

*Ultra rapid freezing* membekukan bahan pangan dengan laju pergerakan permukaan beku sekitar  $10-100\text{ cm/jam}$ , yang umumnya terjadi pada pembeku kriogenik.



Gambar 38. Profil Penurunan Suhu Pada Proses Pembekuan Lambat dan Pembekuan Cepat.  
(Sumber : Hariyadi, 2007)

Laju pembekuan merupakan salah satu faktor kritis yang menentukan mutu produk beku yang dihasilkan. Proses pembekuan lambat akan menghasilkan kristal-kristal es dengan jumlah yang lebih sedikit tetapi dengan ukuran yang lebih besar. Ukuran kristal es yang besar berpeluang untuk menusuk dan merusak sel-sel jaringan pangan, sehingga menyebabkan sel kehilangan air dan kehilangan keteguhan tekstur. Sebaliknya, pembekuan cepat akan menghasilkan kristal-kristal es dengan jumlah yang banyak tetapi dengan ukuran yang lebih kecil. Dengan demikian, semakin cepat laju pembekuan, maka semakin kecil ukuran kristal-kristal es yang terbentuk sehingga tidak merusak sel dan tekstur produk pangan. Disamping itu, dengan laju pembekuan yang lebih cepat berarti pula terjadi peningkatan laju produksi (*throughput rate*) dari mesin freezer.



Gambar 39. Perbedaan Kristal Es *Slow Freezing* dan *Quick Freezing* pada Sel.  
(Sumber: Koelet dan Gray, 1992)

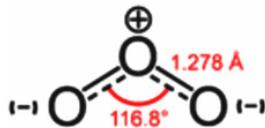
Banyak air yang tidak dapat dibekukan dihitung terhadap kandungan protein. Sekitar 8%-10% dari air total dalam jaringan hewan tidak dapat dijadikan es. Putih telur, kuning telur, daging dan ikan semuanya mengandung kira-kira 0,4 g air yang tidak dapat dibekukan per g protein kering. Hal ini sesuai dengan 11,4% dari air total dalam daging yang tidak berlemak. Sebagian besar buah dan sayuran pun mengandung kurang dari 6% air tidak dapat dibekukan serta butir jagung tumpah pun mengandung 34% air tidak dapat dibekukan.

Tabel.  
Perbedaan Antara Pembekuan Lambat dan Cepat

No.	Pembekuan Lambat	Pembekuan Cepat
1.	Laju pendinginan kurang dari 1°C / menit. Kristal es terbentuk di lokasi ekstra-seluler	Menghasilkan lokasi kristal es ekstra-seluler dan intraseluler (kebanyakan)
2.	Pembentukan kristal es besar	Kecil tapi banyak kristal es
3.	Dislokasi air maksimum	Dislokasi minimum kristal es
4.	Penyusutan (tampilan sel menyusut dalam keadaan beku)	Penampilan beku mirip dengan keadaan tidak beku
5.	Kualitas makanan yang bisa dicapai kurang maksimal	Kualitas makanan biasanya lebih baik daripada yang dicapai dengan pembekuan lambat

#### 1.6.4 Ozonisasi

Ozon ( $O_3$ ) merupakan oksidan kuat dan disinfektan yang sangat baik. Ozon berupa gas yang tidak stabil dan akan lenyap dalam beberapa menit. Ozon pertama kali diperkenalkan sebagai zat pengoksidasi kuat untuk menghilangkan rasa, bau dan warna. Disinfeksi air menggunakan ozon tidak meninggalkan bau dan rasa pada air serta dapat membuat air menjadi lebih segar.



Gambar 40. Ozon  
(Sumber: favpng.com)

Ozon digunakan di pabrik pengolahan air di seluruh dunia sebagai disinfektan, membantu proses koagulasi, menghilangkan warna, rasa, bau pada air dan kebutuhan pengolahan air lainnya. Ozon secara efektif dapat menghancurkan bakteri dan virus. Ozon bereaksi untuk mengoksidasi sejumlah senyawa anorganik termasuk besi, mangan, sulfida, nitrit, arsenik, ion bromida, dan ion iodida. Ozon akan merubah senyawa kompleks menjadi sederhana dimana beberapa senyawa kemungkinan sebagai makanan mikroba pada sistem distribusi air.

Konsentrasi ozon yang diperlukan untuk mengaktifasi 99,9% enterovirus dalam air (25°C, pH = 7) dalam waktu 10 menit bervariasi antara 0,05 dan 0,6 mg/l. Namun demikian beberapa bakteri patogen seperti *Mycobacterium fortuitum* lebih tahan dari pada virus terhadap ozon. Ketahanan terhadap ozon pada beberapa mikroorganisme dari yang ketahanannya paling tinggi hingga yang ketahanannya paling rendah adalah: *Mycobacterium fortuitum* > poliovirus tipe 1 > *Candida parapsilosis* > *Escherichia coli* > *Salmonella typhimurium*. Selain itu, adanya padatan tersuspensi seperti tanah liat dan padatan lumpur sangat mengurangi kemampuan inaktivasi ozon.

Dalam media cair, ozon menghasilkan radikal bebas yang menginaktivasi mikroorganisme. Ozon mempengaruhi permeabilitas, aktivitas enzim dan DNA dari sel bakteri. Sedangkan pada virus, ozon akan menginaktivasi virus dengan cara merusak inti asam nukleat.

Penggunaan ozon di industri pangan terutama industri air minum dalam kemasan telah digunakan sejak tahun 1970 ketika industri air minum dalam kemasan mulai diperkenalkan. Dalam proses produksi, air minum harus dipastikan ditangani dan disimpan dalam keadaan steril untuk menghindari adanya kontaminasi dan pertumbuhan mikroorganisme.



Gambar 41. Industri Air Minum Dalam Kemasan.  
(Sumber: ozonetech.com)

Pada tahun 1982 Food and Drug Administration (FDA) mengklasifikasikan ozon aman dalam aplikasi desinfeksi dan *Good Manufacturing Practice* (GMP), sementara konsentrasi residu ozon dalam air minum dalam kemasan dapat mencapai 0,4 ppm. Setelah itu banyak organisasi kesehatan berbagai negara telah menyetujui ozon sebagai komponen utama dalam industri air minum dalam kemasan misalnya WHO. Ozon aman digunakan di pabrik air minum dalam kemasan tanpa meninggalkan residu atau rasa dalam air kemasan sesuai dengan pedoman *International Bottle Water Association* (IBWA).



Gambar 42. Salah Satu Contoh Sistem Disinfeksi Ozon untuk Air Minum Dalam Kemasan.  
(Sumber : dioxide.com)

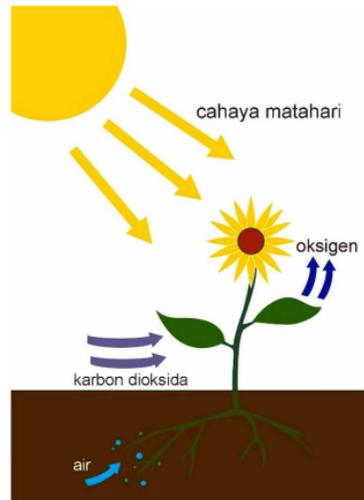
## BAB 2 KARBOHIDRAT

Karbohidrat atau hidrat karbon merupakan senyawa yang terbentuk dari molekul karbon, hidrogen dan oksigen. Secara empiris, karbohidrat dapat dirumuskan sebagai  $C_n(H_2O)_n$ , dimana nilai  $n$  berkisar tiga sampai beberapa ratus. Namun sebagian besar senyawa karbohidrat alami yang diproduksi oleh organisme hidup tidak memiliki formula empiris yang sederhana, tetapi memiliki reaksi umum sehingga digolongkan sebagai karbohidrat. Contohnya adalah *deoxysugars*, gula amino dan asam karboksilat gula. Sebaliknya, sebagian besar karbohidrat alami terdapat dalam bentuk oligomer (oligosakarida) atau polimer (polisakarida) gula sederhana dan dalam bentuk termodifikasi.

Karbohidrat memiliki peran sentral dalam metabolisme hewan dan tumbuhan, dimana 90% bahan kering pada tanaman terdiri dari karbohidrat. Pada binatang kebanyakan senyawa organik yang dijumpai berupa derivat karbohidrat, reaksinya dengan amonia akan menghasilkan asam-asam amino yang selanjutnya disintesa menjadi molekul protein. Karbohidrat yang disimpan dalam tumbuh-tumbuhan atau hewan dalam kondisi tertentu dapat diubah menjadi senyawa lain dan teroksidasi hingga menghasilkan tenaga atau energi.

Karbohidrat merupakan senyawa organik yang melimpah banyak di alam terdapat dalam semua hasil pertanian, dihasilkan dari fotosintesa  $CO_2$  dan  $H_2O$ . Biosintesis karbohidrat pada tanaman mulai dari karbondioksida dan air dengan bantuan sinar matahari seperti fotosintesis adalah dasar bagi keberadaan semua organisme lain yang

bergantung pada asupan zat organik dengan makanan. Reaksi fotosintesis yang terjadi sebagai berikut:



Gambar 43. Fotosintesis.  
(Sumber: [utakatikotak.com](http://utakatikotak.com))

Dalam tubuh manusia, karbohidrat dapat dibentuk dari beberapa asam amino dan sebagian dari gliserol lemak. Tetapi sebagian besar karbohidrat diperoleh dari bahan pangan yang dikonsumsi sehari-hari, terutama dari bahan pangan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti buah-buahan yang mengandung monosakarida seperti glukosa dan fruktosa, batang tebu yang mengandung disakarida dalam bentuk sukrosa dan sel dinding tanaman yang disusun oleh selulosa dan lignin.

Karbohidrat dapat pula disintesis secara kimia, misalnya pada pembuatan sirup formosa yang dibuat dengan menambahkan larutan alkali encer pada formaldehida. Sirup formosa mengandung lebih dari 13% heksosa dan campuran tersebut dapat diubah menjadi gula seperti d-glukosa, d-fruktosa dan d-mannosa.

Cara yang lebih mudah dan murah untuk memperoleh karbohidrat adalah dengan mengekstraknya dari bahan-bahan nabati sumber karbohidrat yaitu sereal, umbi-umbian dan batang tanaman misalnya sagu. Sumber karbohidrat yang merupakan bahan makanan pokok di berbagai daerah di Indonesia adalah biji-bijian, khususnya beras dan jagung.



Gambar 44. Berbagai Macam Sumber Karbohidrat.  
(Sumber: [alodokter.com](http://alodokter.com))

Karbohidrat adalah senyawa yang sangat penting secara biologis, karena dapat menyediakan energi melalui reaksi oksidasi, memasok senyawa karbon untuk sintesis komponen sel, berfungsi sebagai bentuk energi kimia yang tersimpan dan membentuk bagian dari struktur beberapa sel dan jaringan. Pati, laktosa, dan sukrosa dapat dicerna oleh manusia normal dan bersama dengan d-glukosa dan d-fruktosa adalah sumber energi manusia yang menyediakan 70%-80% kalori dalam makanan manusia di seluruh dunia.

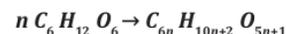
Karbohidrat merupakan salah satu sumber nutrisi dasar dan secara kuantitatif karbohidrat merupakan sumber energi terpenting. Walaupun nilai energi yang dapat dihasilkan oleh 1 gram karbohidrat hanya 4 Kal

(kkal) bila dibandingkan dengan protein dan lemak, tetapi karbohidrat merupakan sumber energi yang murah. Bahkan karbohidrat yang tidak dicerna seperti serat-serat (*dietary fiber*) sangat penting dalam nutrisi harian yang seimbang. Fungsi penting lainnya dari karbohidrat dalam bahan pangan yaitu sebagai zat pemanis, zat pembentuk dan pengisi pada pasta, zat penstabil dan juga prekursor untuk aroma dan zat pewarna terutama dalam pengolahan yang menggunakan suhu. Karbohidrat juga mempunyai peranan penting dalam menentukan karakteristik bahan pangan, misalnya rasa, warna, tekstur, dan lain-lain.

Karbohidrat memiliki banyak struktur, ukuran dan bentuk molekul yang berbeda, sehingga karbohidrat pun memiliki berbagai sifat kimia dan fisik serta memiliki efek fisiologis yang berbeda pada manusia. Karbohidrat dapat menerima baik modifikasi kimia maupun biokimia, bahkan kedua modifikasi tersebut dapat digunakan secara komersial dalam meningkatkan sifat karbohidrat dan memperluas penggunaannya.

Berdasarkan pada jumlah gula yang dihasilkan dari karbohidrat yang dihidrolisa, maka secara umum karbohidrat diklasifikasikan menjadi dua golongan besar, yaitu gula sederhana dan gula majemuk. Gula sederhana disebut juga monosakarida. Gula majemuk masih dibedakan menjadi dua, yaitu oligosakarida dan polisakarida. Secara umum, maka karbohidrat dapat diklasifikasikan menjadi monosakarida, oligosakarida dan polisakarida.

Monosakarida adalah polihidroksi—aldehida atau—keton, umumnya dengan rantai-C yang tidak bercabang. Senyawa monosakarida yang terkenal adalah glukosa, fruktosa dan galaktosa. Oligosakarida adalah karbohidrat yang diperoleh dari <10 unit karbohidrat, yang secara formal dipolimerisasi dari monosakarida dengan eliminasi air untuk menghasilkan asetil penuh. Contohnya dengan reaksi berikut:



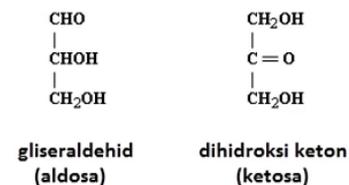
Senyawa oligosakarida yang terkenal adalah disakarida yaitu saka-rosa (sukrosa), maltosa dan laktosa kemudian ada trisakarida yaitu raffinosa, dan tetrasakarida yaitu stachyosa.

Polisakarida terdiri dari n-monosakarida, dimana angka n pada umumnya >10. Karenanya, sifat polimer dengan berat molekul tinggi ini sangat berbeda dari karbohidrat lain. Polisakarida lebih mudah larut dalam air dibandingkan monosakarida dan oligosakarida. Polisakarida tidak memiliki rasa manis dan pada dasarnya inert. Senyawa polisakarida yang terkenal adalah pati, selulosa dan pektin.

## 2.1 Monosakarida

Monosakarida adalah karbohidrat yang tidak dapat dipecah menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dengan hidrolisis, sehingga monosakarida kadang-kadang disebut juga dengan gula sederhana. Monosakarida atau gula sederhana bersifat netral, dapat mengkristal, dapat mendefusi, mudah larut dalam air, sedikit larut dalam alkohol dan tidak larut dalam ester. Jenis-jenis monosakarida yang umum adalah heksosa dan pentosa. Pentosa meliputi arabinosa, silosa, ribosa sedangkan heksosa dibedakan menjadi dua, yaitu aldoheksosa (galaktosa, glukosa) dan ketoheksosa (fruktosa).

Berdasarkan letak gugus karbonil dalam molekul, monosakarida dibedakan menjadi aldosa (*polihidroksi aldehid*) dan ketosa (*polihidroksi keton*), yang umumnya monosakarida memiliki rantai C yang tidak bercabang.



Gambar 45. Struktur Aldosa dan Ketosa.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

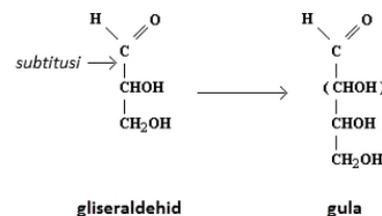
Pada kelompok aldosa, akhiran -osa menandakan gula dan awalan ald- menandakan kelompok karbonil aldehida. Senyawa yang dihasilkan dari kelompok aldosa dimulai dengan triosa, tetrosa, pentosa dan heksosa. Sedangkan kelompok ketosa memiliki akhiran—ulosa dimulai dengan ketosa yang paling sederhana, dihidroksiaseton, triulosa, diikuti oleh tetrolulosa, pentulosa, heksulosa dan lain-lain. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 11. Klasifikasi Monosakarida Berdasarkan Jumlah Atom Karbon

Jumlah atom karbon	Jenis Kelompok Karbonil	
	Aldehid	Keton
3	Triosa	Triulosa
4	Tetosa	Tetrolulosa
5	Pentosa	Pentulosa
6	Heksosa	Heksulosa
7	Heptosa	Heptulosa
8	Oktosa	Oktulosa
9	Nonosa	Nonulosa

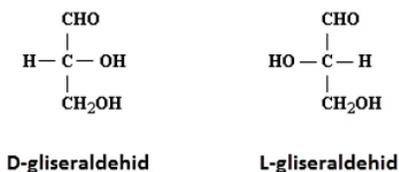
(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

Monosakarida dianggap merupakan turunan dari gliseraldehid, dimana gugus karbonil (aldehid) disubstitusi dengan gugus lain. Pada gliseraldehid, tampak bahwa C-sentral merupakan C-asimetris (atom karbon kiral) karena atom C tersebut mengikat empat gugus yang berlainan yaitu gugus-gugus -H, -OH, -CH<sub>2</sub>OH dan -CHO, sehingga gliseraldehid mempunyai n = 1 (n merupakan banyaknya C-asimetris). Oleh karena itu gliseraldehid memiliki  $2^n = 2^1 = 2$  stereoisomer.



Gambar 46. Substitusi Gliseraldehid.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Untuk membedakan kedua isomer tersebut, maka semua gula yang memiliki gugus hidroksil (-OH) pada C-asimetris bernomor tertinggi (C-5 dalam kasus ini) yang diposisikan di sisi kanan diberi notasi D (Dextro = Kanan) dan semua gula dengan gugus hidroksil (-OH) yang diposisikan di sebelah kiri pada C-asimetris bernomor yang paling tinggi diberi notasi L (Levo = Kiri). Biasanya penulisan huruf D atau L ditempatkan di depan nama monosakarida, misalnya D-glukosa dan L-glukosa. Bentuk L merupakan bayangan cermin dari bentuk D.

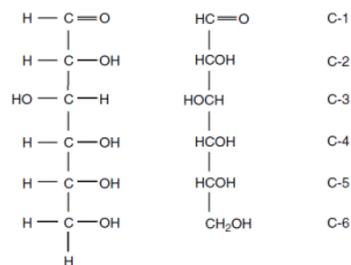


Gambar 47. Notasi D dan L.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Notasi D dan L bukan untuk menunjukkan arah putaran bidang terpolarisasi (rotasi optis). Untuk menunjukkan arah rotasi optis diberi notasi (+) yang memutar bidang terpolarisasi ke kanan, dan diberi notasi (-) untuk yang memutar bidang terpolarisasi ke kiri. Contohnya D(+)-glukosa, D(-)-fruktosa.

Monosakarida yang termasuk ke dalam aldosa yang memiliki enam atom karbon memiliki  $2^4$  atau 16 susunannya berbeda dari atom karbon yang mengandung gugus hidroksil sekunder, yang memungkinkan pembentukan 16 gula dengan enam atom karbon yang berbeda dengan ujung rantai yang mengandung gugus aldehida. Delapan diantaranya memiliki notasi D dan delapan lainnya memiliki notasi L.

D-glukosa merupakan polialkohol dan juga termasuk ke dalam kelompok aldehida. D-glukosa diklasifikasikan sebagai aldosa, sebutan untuk gula yang mengandung gugus aldehida. Ketika D-glukosa ditulis secara terbuka atau vertikal, rantai lurus dikenal sebagai struktur asiklik dengan gugus aldehida pada atom karbon 1 dan gugus hidroksil primer pada atom karbon 6. Terlihat bahwa semua gugus hidroksil sekunder berada pada atom karbon 2, 3, 4, dan 5, yang semuanya memiliki empat substituen berbeda yang melekat pada rantai utama. Glukosa yang terjadi secara alami ditetapkan sebagai bentuk D, khususnya adalah D-glukosa.

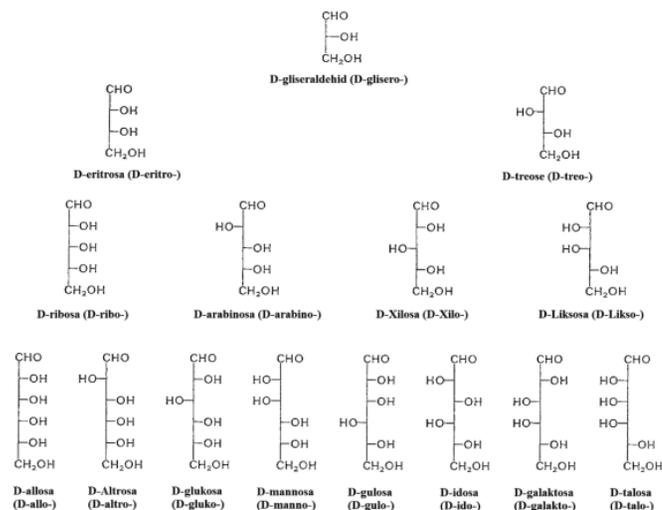


Gambar 48. D-glukosa dalam Struktur Terbuka.

(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

Terdapat dua aldosa yang memiliki tiga atom karbon, yaitu D-gliseraldehida (D-gliserosa) dan L-gliseraldehida (L-gliserosa), masing-masing memiliki satu atom C-asimetris. Aldosa dengan empat atom karbon (tetrosa) memiliki dua atom C-asimetris, sedangkan aldosa dengan lima atom karbon (pentosa) memiliki tiga atom C-asimetris dan

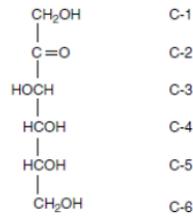
merupakan kelompok aldosis kedua yang paling umum ditemukan di alam. Kelompok aldosa yang memiliki enam atom karbon dengan empat atom C-asimetris terdapat di alam dalam jumlah yang paling besar.



Gambar 49. D-Aldosa pada Penulisan Struktur cara Fisher.

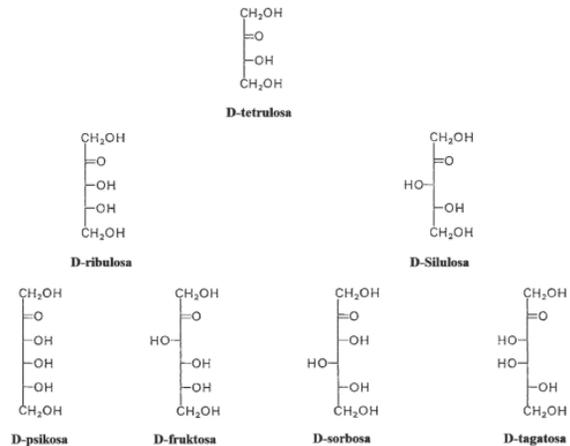
(Sumber: Belitz, et.al., 2009)

Monosakarida dengan notasi L lebih sedikit ditemukan di alam karena umumnya monosakarida-monosakarida yang terdapat di alam memiliki notasi D, meskipun demikian monosakarida dengan notasi L memiliki peran biokimia yang penting. Monosakarida dengan notasi L yang dapat dijumpai dalam bahan pangan adalah L-arabinosa dan L-galaktosa, yang keduanya merupakan unit penyusun polimer karbohidrat (polisakarida) serta L-fukosa yang terdapat dalam mukopolisakarida dan mukoprotein. Sedangkan beberapa monosakarida dengan notasi L yang terdapat di alam yaitu L-arabinosa dan L-xilosa yang terdapat pada urin penderita pentosuria.



Gambar 50. D-fruktosa dalam Struktur Terbuka.  
(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

D-fruktosa (secara sistematis merupakan D-arabinoheksulosa) adalah contoh utama dari kelompok ketosa. D-fruktosa adalah salah satu dari dua unit monosakarida pembentuk sukrosa dan membentuk sekitar 55% dari *High Fructose Syrup* (HFS) umum dan sekitar 40% komposisi dari madu. D-fruktosa hanya memiliki tiga atom C-asimetris (C-3, C-4, dan C-5). Jadi, hanya ada  $2^3$  atau delapan ketoheksosa. D-fruktosa adalah satu-satunya ketosa yang komersial dan satu-satunya yang ditemukan bebas dalam bahan pangan alami.

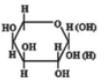
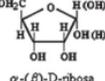
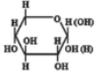


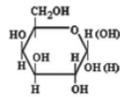
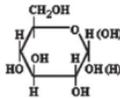
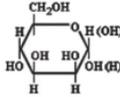
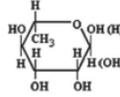
Gambar 51. D-Ketosa pada Penulisan Struktur cara Fisher.  
(Sumber: Belitz *et. al.*, 2009)

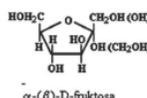
Beberapa monosakarida seperti D-glukosa, D-galaktosa dan D-fruktosa dapat dengan mudah terserap melalui dinding usus kecil manusia, sedangkan monosakarida lain yang memiliki BM yang sama atau lebih kecil seperti D-mannosa, L-arabinosa dan L-sorbosa hanya dapat terserap sebagian kecil di dinding usus kecil.

Tabel 12.

Keberadaan Aldosa dan Ketosa di Alam.

Nama	Struktur	Keberadaan	Struktur
Aldosa	Pentosa	L-Arabinosa	Gum tanaman, Hemiselulosa, Pektin, Glikosida  $\alpha$ -( $\beta$ )-L-arabinosa
		D-Ribosa	Penyusun nukleotida (asam ribonukleat), Glikosida dan Vitamin B <sub>12</sub>  $\alpha$ -( $\beta$ )-D-ribose
		D-Xylosa	Xylanes, Hemiselulosa, Gum tanaman, Glikosida  $\alpha$ -( $\beta$ )-D-xylosa
		D-Apiosa (3-C-hidroksimetil-D-glisertetrosa)	Parsley, Biji seledri
		2-Deoksi-D-Ribosa	DNA
		D-Lixosa	Asam nukleat pada ragi
		Hemiselulosa	
		2-O-Metil-D-Xilosa	

Heksosa	L-Fukosa (6-Deoksi-L-Galaktosa)	Susu manusia, Rumput laut (alga)	
	D-Galaktosa	Tersebar luas di oligosakarida dan polisakarida	 $\alpha-(\beta)$ -D-galaktosa
	D-Glukosa	Tersebar luas di tanaman dan hewan	 $\alpha-(\beta)$ -D-glukosa
	D-Mannosa	Tersebar luas sebagai pembentuk polisakarida	 $\alpha-(\beta)$ -D-mannosa
	L-Rhamnosa (6-Deoksi-L-Mannosa)	Gum dan lendir tanaman, glikosida	 $\alpha-(\beta)$ -L-rhamnosa

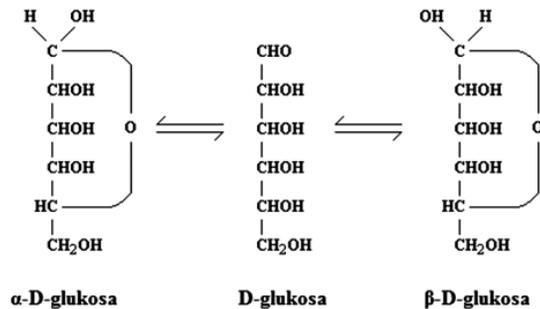
Ketosa	Heksulosa	D-Fruktosa	Terdapat pada tanaman dan madu	 $\alpha-(\beta)$ -D-fruktosa
		D-Psiosa	Terdapat pada residu molase yang di fermentasi	
	Heptulosa	D-Manno-2-Heptulosa	Buah alpukat	
	Oktulosa	D-Glisero-D-Manno-2-Oktulosa	Buah alpukat	
	Nonulosa	D-Eritro-L-Gluko-2-Nonulosa	Buah alpukat	

(Sumber : Belitz *et. al.*, 2009; Apriyanto dan Rujiah, 2017)

### 2.1.1 Isomerisasi Monosakarida

Aldosa dan ketosa sederhana yang mengandung jumlah atom karbon yang sama merupakan isomer satu sama lain. Misalnya pada heksosa dan heksulosa, keduanya memiliki rumus empiris  $C_6H_{12}O_6$  dan dapat saling bertukar oleh isomerisasi. Isomerisasi monosakarida melibatkan gugus karbonil dan gugus hidroksil yang berdekatan. Dengan reaksi ini, suatu aldosa diubah menjadi aldosa lain (dengan konfigurasi yang berlawanan dari C-2) dan ketosa yang sesuai. Suatu ketosa diubah menjadi dua aldosa yang sesuai. Oleh karena itu, dengan isomerisasi, D-glukosa, D-mannosa dan D-fruktosa masing-masing dapat dipertukarkan. Isomerisasi dapat dikatalisis oleh basa atau enzim.





Gambar 55. Notasi  $\alpha$  dan  $\beta$ .  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

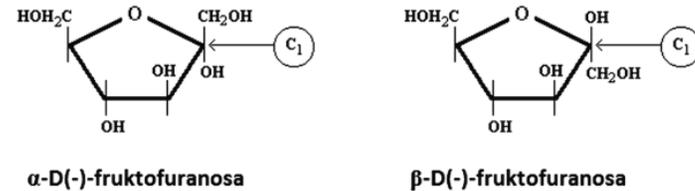
Posisi O dan OH (notasi  $\alpha$  dan  $\beta$ ) pada karbon anomerik ini dapat ditentukan mereaksikannya dengan asam borat, dimana  $\alpha$ -glukosa akan bereaksi dengan cepat sedangkan  $\beta$ -glukosa tidak mudah bereaksi dengan asam borat.

Cara lain untuk menentukan bentuk  $\alpha$  dan  $\beta$  yaitu berdasarkan besarnya sudut rotasi atau rotasi spesifik dengan menggunakan notasi  $[\alpha]$ . Ketentuan yang digunakan adalah apabila rotasi positif yang makin menurun diberi notasi  $\beta$ , sedangkan apabila rotasi positif yang makin menaik diberi notasi  $\alpha$ .

Selain penulisan struktur cara Fisher, ada juga penulisan struktur cara Haworth. Penentuan bentuk  $\alpha$  dan  $\beta$  pada cara Haworth didasarkan kepada letak gugus -OH pada atom C. Apabila gugus -OH berada di bawah bidang cincin maka diberi notasi  $\alpha$  atau berbentuk  $\alpha$ , sedangkan apabila gugus -OH berada di atas bidang cincin diberi notasi  $\beta$  atau berbentuk  $\beta$ . Ketentuan tersebut adalah untuk cincin piranosa.

Demikian pula untuk cincin furanosa tergantung letak gugus -OH yang terikat pada atom C seletak dengan bentuk piranosa akan mempunyai bentuk yang sama dengan ketentuan pada bentuk piranosa. Penentuan bentuk D dan L pada cara Haworth didasarkan kepada letak

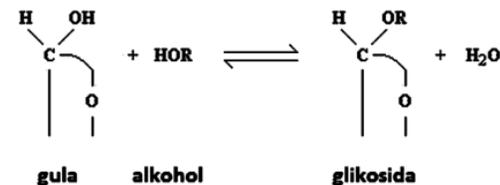
C<sub>6</sub>, apabila berada di atas bidang cincin diberi notasi D. Sedangkan apabila berada di bawah bidang cincin diberi notasi L.



Gambar 56. Penentuan Struktur Monosakarida Cara Haworth.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

### 2.1.3 Glikosida

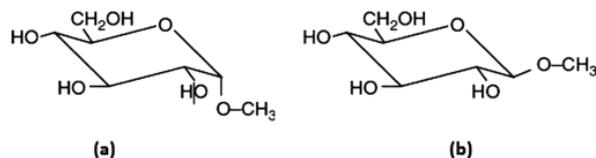
Bentuk hemiasetal dari gula dapat bereaksi (gugus hidroksil dari gula berkondensasi) dengan alkohol untuk menghasilkan asetal penuh. Senyawa ini disebut dengan glikosida. Apabila gugus alkohol berupa gula, maka glikosidanya berupa disakarida. Apabila kondensasi berlanjut akan dihasilkan polisakarida. Kalau gugus alkohol bukan gula, maka glikosidanya berupa aglikon.



Gambar 57. Gula Berkondensasi dengan Alkohol Menjadi Glikosida.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Di laboratorium, reaksi terjadi di bawah kondisi anhidrat dengan adanya penambahan asam (sebagai katalis) pada suhu tinggi, tetapi glikosida paling umum terdapat di alam, yaitu di lingkungan berair oleh reaksi yang dikatalisis oleh enzim di jalur yang melibatkan beberapa

perantara. Hubungan asetal pada atom karbon anomerik ditunjukkan oleh akhiran -ida. Dalam kasus d-glukosa bereaksi dengan metanol, produk utamanya adalah metil- $\alpha$ -D-glukopiranosida, dengan sedikit metil- $\beta$ -D-glukopiranosida.



Gambar 58. Struktur Metil- $\alpha$ -D-glukopiranosida (a) dan metil- $\beta$ -D-glukopiranosida (b).

(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

Selain itu, dihasilkan dua bentuk anomerik dari furanosida cincin yang terdiri dari lima atom karbon, tetapi karena struktur energi yang lebih tinggi, maka akan menata kembali menjadi bentuk yang lebih stabil dan terjadi pada kesetimbangan dalam jumlah rendah. Gugus metil dan gugus lainnya yang terikat pada gula untuk membuat glikosida disebut aglikon. Glikosida mengalami hidrolisis dalam lingkungan asam untuk menghasilkan gula pereduksi dan senyawa terhidroksilasi. Hidrolisis menjadi lebih dan lebih cepat ketika suhu dinaikkan.

### 2.1.4 Reaksi yang Terjadi pada Monosakarida

Semua molekul karbohidrat memiliki gugus hidroksil yang dapat bereaksi. Monosakarida sederhana dan sebagian besar molekul karbohidrat dengan berat molekul yang rendah lainnya juga memiliki gugus karbonil yang dapat bereaksi.

#### 2.1.4.1 Oksidasi Menjadi Asam Aldonat dan Aldonolakton

Dalam kondisi ringan dan dalam kondisi alkali, aldosa mudah teroksidasi menjadi asam aldonat dengan oksidasi gugus aldehida menjadi gugus karboksil atau karboksilat. Reaksi ini biasanya digunakan untuk penentuan gula secara kuantitatif. Salah satu metode paling awal untuk mendeteksi dan mengukur gula menggunakan larutan Fehling. Larutan Fehling adalah larutan alkali dari tembaga (II) yang mengoksidasi aldosa menjadi aldonat dan dalam prosesnya direduksi menjadi tembaga (I) yang mengendap sebagai  $\text{Cu}_2\text{O}$  berwarna merah bata. Variasi (reagen Somogyi-Nelson dan Benedict) masih digunakan untuk menentukan jumlah gula pereduksi dalam makanan dan bahan biologis lainnya.

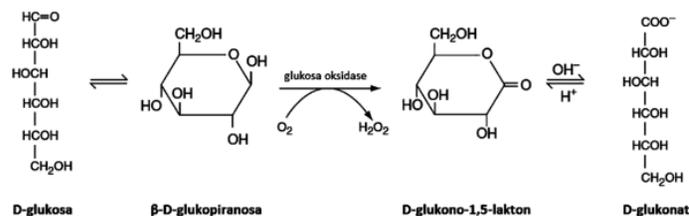


Dalam proses oksidasi, gugus aldehida (aldosa) menjadi garam dari gugus asam karboksilat. Zat pengoksidasi direduksi, dimana gula mereduksi zat pengoksidasi. Dengan demikian, aldosa disebut gula pereduksi. Ketosa juga disebut gula pereduksi karena di bawah kondisi basa pada uji Fehling, dimana ketosa diisomerisasi menjadi aldosa. Pereaksi Benedict yang bukan basa akan bereaksi dengan aldosa, tetapi tidak dengan ketosa.

D-glukosa dapat diubah menjadi asam D-glukonat menggunakan enzim glukosa oksidase, dimana produk awalnya berupa D-glukono-1,5-lakton. Nama asam diperoleh dengan menambahkan akhiran -onat (aldosa menjadi asam aldonat). Reaksi ini biasanya digunakan untuk mengukur jumlah D-glukosa dalam makanan dan bahan biologis lainnya, termasuk konsentrasi D-glukosa dalam darah dan urin. Asam D-glukonat adalah terdapat secara alami pada jus buah dan madu.

$\beta$ -piranosa dioksidasi lebih cepat daripada bentuk  $\alpha$ -, karena bentuk  $\beta$ - lebih bersifat asam sehingga dapat dianggap bahwa anion piranosa bersifat reaktif. Produk hasil oksidasi berupa delta-lakton yang berada

dalam kesetimbangan dengan gamma-lakton dan bentuk bebas dari asam aldolat. Bentuk akhir terdapat pada pH > 3.

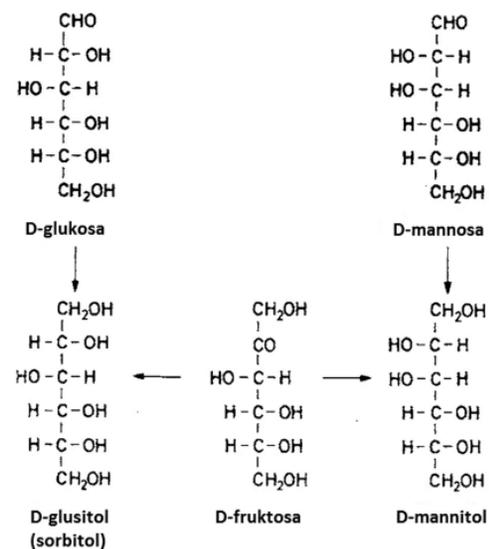


Gambar 59. Reaksi Oksidasi D-glukosa Menjadi D-glukonat.  
(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

Reaksi tersebut juga digunakan untuk pembuatan asam D-glukonat komersial dan bentuk laktonnya. D-glukono-delta-lakton (GDL), D-glukono-1,5- lakton akan terhidrolisis sebagian besar menjadi sempurna dalam air dalam waktu sekitar 3 jam pada suhu kamar yang akan mempengaruhi penurunan pH. Proses hidrolisisnya berlangsung lambat, menghasilkan rasa yang ringan membuat GDL unik diantara asidulan makanan. GDL digunakan pada *baking powder*, daging (sosis yang difermentasi) dan produk susu serta pada proses pembuatan tahu.

#### 2.1.4.2 Reduksi Kelompok Karbonil Menjadi Gula Alkohol

Monosakarida dapat direduksi menjadi senyawa alkohol polihidrat (*polyol*), secara elektrolitik atau melalui hidrogenasi katalitik. Polyol atau sering juga disebut dengan gula alkohol berupa kristal padat dan larut dalam air. Nama alkohol gula diturunkan dari nama gula dalam setiap kasus dengan mengganti akhiran -osa atau -ulosa dengan akhiran -itol (alditol). Alditol juga dikenal sebagai polioli dan alkohol polihidroksi. D-glusitol (sorbitol) secara spesifik merupakan kelompok heksitol, karena berasal dari heksosa,



Gambar 60. Gula yang Direduksi menjadi Gula Alkohol.  
(Sumber : Belitz *et. al.*, 2009)

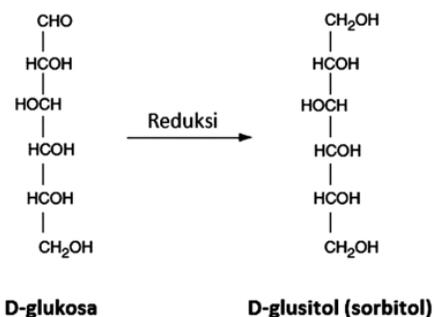
Gula alkohol yang sering dijumpai dalam pengolahan makanan adalah xylitol, satu-satunya dari empat pentitol (mesoribitol, D,L-arabitol, mesoxylitol) yang digunakan. Hanya D-glucitol (sorbitol) dan D-mannitol dari sepuluh bentuk stereoisomer dari heksitol. [meso-allitol, meso-galaktitol (dulsitol), D,L-glusitol (sorbitol), D,L-iditol, D,L-manitol dan D,L-altritol].

Gula alkohol tersebut digunakan sebagai pengganti gula dalam formulasi makanan diet untuk mengurangi aktivitas air dalam makanan dengan kadar air sedang, berfungsi sebagai pelunak, penghambat kristalisasi dan untuk meningkatkan karakteristik rehidrasi makanan yang terdehidrasi. Adapun jenis gula alkohol adalah:

1. Sorbitol

Sorbitol ditemukan secara luas pada tanaman, mulai dari ganggang hingga tanaman tingkat tinggi, dimana sorbitol

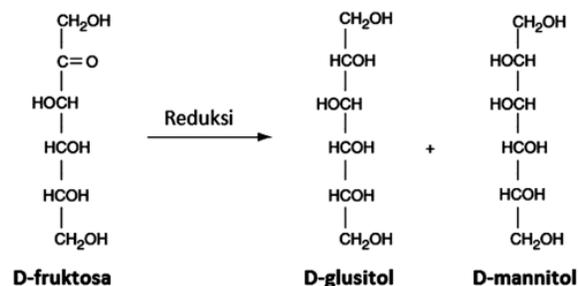
ditemukan dalam buah-buahan seperti pir, apel, plum dan beri tetapi umumnya tersedia dalam jumlah kecil. Sorbitol memiliki tingkat kemanisan setengah dari tingkat kemanisan sukrosa dan dijual baik sebagai sirup maupun sebagai kristal sorbitol. Sorbitol digunakan sebagai humektan, yaitu zat yang akan menahan atau mempertahankan kelembaban dalam suatu produk.



Gambar 61. Reduksi D-glukosa Menjadi Sorbitol.  
(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

## 2. Mannitol

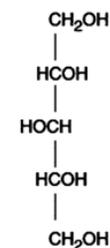
D-mannitol didapatkan dari hasil reduksi D-mannosa. Secara komersial, mannitol diperoleh bersama dengan sorbitol dari reduksi komponen sukrosa yaitu d-fruktosa dan dari isomerisasi D-glukosa, yang dapat dikontrol oleh alkalinitas larutan yang mengalami reduksi katalitik. D-mannitol tidak bersifat sebagai humektan seperti sorbitol. Sebaliknya, mannitol mengkristal dengan mudah dan mudah larut. Mannitol digunakan sebagai lapisan anti lengket pada permen. Mannitol memiliki tingkat kemanisan 69% dari tingkat kemanisan sukrosa dan digunakan dalam coklat bebas gula, permen mint, dan permen keras (*hard candy*) dan permen lunak (*soft candy*).



Gambar 62. Reduksi D-fruktosa menjadi D-mannitol.  
(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

## 3. Xylitol

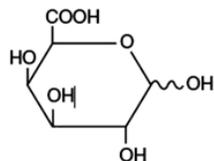
Xylitol dihasilkan dari hidrogenasi D-xyloza yang diperoleh dari hemiselulosa, terutama dari pohon birch. Kristal-kristalnya memiliki panas negatif larutan yang tinggi. Panas endotermik larutan kristal xylitol ini menghasilkan efek pendinginan di mulut. Efek pendinginan ini membuat xylitol umumnya digunakan sebagai bahan dalam permen mint dan permen karet tanpa gula. Manisnya hampir sama dengan sukrosa. Xylitol bersifat nonkariogenik karena tidak dimetabolisme oleh mikroflora mulut yang menghasilkan plak gigi.



Gambar 63. Struktur Molekul Xylitol.  
(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

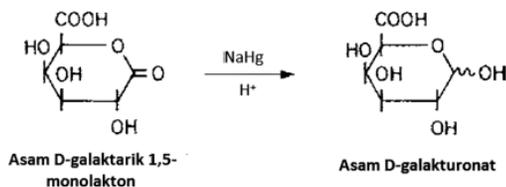
### 2.1.4.3 Oksidasi menjadi Asam Uronat

Atom karbon terminal (pada ujung yang berlawanan dari rantai karbon pada kelompok aldehida) dari unit mono-, oligo- atau polisakarida terdapat dalam bentuk teroksidasi (asam karboksilat). Misalnya aldoheksosa dengan C-6 dalam bentuk gugus asam karboksilat disebut asam uronat.



Gambar 64. Struktur Asam D-galakturonat.  
(Sumber : BeMiller dan Huber, 2007)

Selain itu, asam uronat dapat terbentuk dari reduksi monolakton dari asam aldarik yang sesuai. Asam aldarik terbentuk dari aldosa yang teroksidasi lebih kuat oleh zat seperti asam nitrat.



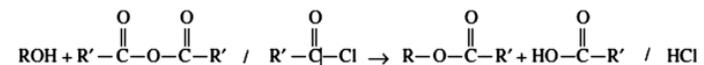
Gambar 65. Pembentukan Asam D-galakturonat dari Asam D-galaktarik 1,5-monolakton.  
(Sumber: Belitz *et. al.*, 2009)

Asam uronat dapat membentuk cincin lakton dalam bentuk piranosa atau furanosa, tergantung pada konfigurasinya. Ketika atom C-asimetris dari asam uronat berada dalam konfigurasi yang sama seperti misalnya pada D-galaktosa, maka senyawa tersebut adalah asam d-galakturonat. Sejumlah asam uronat terdapat cukup banyak di alam.

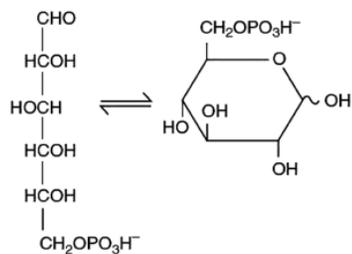
Beberapa diantaranya merupakan konstituen dari polisakarida yang penting dalam pengolahan makanan, seperti zat pembentuk gel dan pengental seperti pektin (asam D-galakturonat). Asam alginat merupakan turunan dari rumput laut (asam D-mannuronat, asam L-guluronat).

### 2.1.4.4 Esterifikasi Gugus Hidroksil

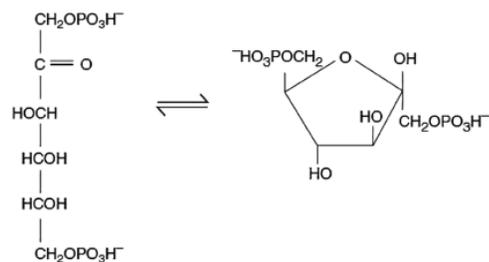
Kelompok hidroksil karbohidrat, seperti kelompok hidroksil alkohol sederhana, dapat membentuk ester dengan asam organik dan beberapa asam, dengan adanya basa yang sesuai menghasilkan ester.



Asetat, suksinat setengah ester dan ester asam karboksilat lainnya dari karbohidrat dapat ditemukan di alam, umumnya sebagai komponen polisakarida. Gula fosfat adalah zat intermediet metabolik yang umum. Monoester dari asam fosfat juga ditemukan sebagai komponen dari polisakarida. Sebagai contoh, pati kentang mengandung sebagian kecil kelompok ester fosfat. Pati jagung pun mengandung kelompok ester fosfat dalam jumlah yang lebih sedikit. Dalam memproduksi pati yang dimodifikasi, pati jagung sering diderivatisasi dengan kelompok ester mono dan *distarch* atau keduanya.



**D-glukosa 6-fosfat**



**D-fruktosa 1,6-bifosfat**

Gambar 66. Struktur Gula Fosfat.  
(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

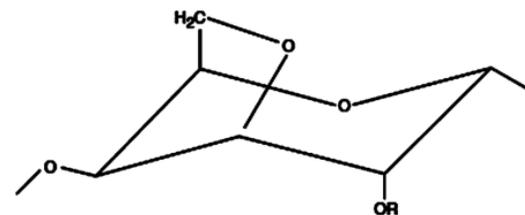
Ester pati lainnya, terutama asetat, suksinat, dan suksinat setengah ester yang tersubstitusi, adalah pati makanan yang dimodifikasi. Ester asam lemak sukrosa diproduksi secara komersial sebagai pengemulsi air dalam minyak.

#### 2.1.4.5 Eterifikasi Gugus Hidroksil

Kelompok hidroksil karbohidrat dapat membentuk eter dan ester. Eterkarbohidrat tidak terdapat di alam seperti ester. Namun, polisakarida dapat dieterifikasi secara komersial untuk memodifikasi strukturnya dan membuatnya lebih berguna. Contohnya adalah produksi metil ( $-O-CH_3$ ), natrium karboksimetil ( $-O-CH_2-CO-2Na^+$ ), dan hidroksipropil

( $-O-CH_2-CHOH-CH_3$ ) dari eter selulosa dan hidroksipropil dari pati, yang semuanya disetujui untuk penggunaannya dalam produk pangan.

Jenis eter tertentu, yang terdapat ikatan eter antara atom karbon 3 dan 6 dari unit D-galaktosil, ditemukan dalam polisakarida rumput laut merah khususnya agar, furcellaran, kappa-karagenan dan iota-karagenan. Eter semacam itu dikenal sebagai cincin 3,6-anhidro. Eter itu dibentuk dengan menghilangkan unsur-unsur air (HOH) dari kelompok hidroksil pada C-3 dan C-6.



Gambar 67. Struktur 3,6-anhidro- $\alpha$ -D-galaktopiranosil.  
(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

## 2.2 Oligosakarida

Oligosakarida terdiri dari beberapa monosakarida yang bergabung karena adanya ikatan glikosidik, yaitu di-, tri-, tetra-sakarida. Nama oligosakarida biasanya terbatas pada kelompok karbohidrat, dimana jumlah unit monosakarida kurang dari 10. Ketika sebuah molekul mengandung lebih dari 20 unit monosakarida, maka disebut dengan polisakarida.

Ikatan antara dua molekul monosakarida disebut dengan ikatan glikosidik. Ikatan ini terbentuk antara gugus hidroksil dari atom C-1 yang disebut juga karbon anomerik dengan gugus hidroksil dan atom C pada molekul monosakarida yang lain. Ikatan glikosidik biasanya terjadi antara atom C-1 dengan atom C-4 atau dengan melepaskan 1 mol air. Ikatan-ikatan glikosidik jarang terjadi antara karbon anomerik dengan karbon yang ganjil, misalnya atom C-1 dengan C-3, C-1 dengan

C-5, C-1 dengan C-7, tetapi biasanya dengan ikatan karbon genap yaitu C-2, C-4 atau C-6.

Disakarida adalah senyawa yang mengandung dua unit monosakarida yang terikat melalui ikatan glikosidik. Disakarida terdiri dari gula reduksi (maltosa, laktosa) dan non-reduksi (sukrosa). Senyawa yang mengandung tiga unit monosakarida adalah trisakarida. Trisakarida berupa gula non-reduksi (rafinosa, gentianos). Sedangkan struktur yang mengandung dari 4 hingga 10 unit monosakarida, baik linier atau bercabang, adalah tetra, penta, heksa, oktan, nona-, dan dekasakarida, dan seterusnya.

Hanya beberapa oligosakarida yang ditemukan secara bebas di alam. Sebagian besar dari oligosakarida diproduksi oleh hidrolisis polisakarida menjadi unit yang lebih kecil. Karena ikatan glikosidik adalah bagian dari struktur asetal, maka ikatan tersebut mengalami hidrolisis yang dikatalisis dengan adanya asam berair dan panas.

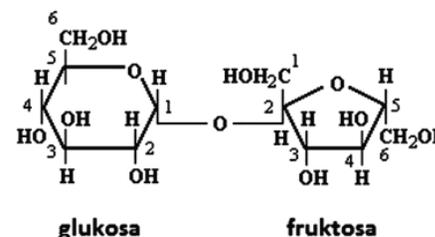
### 2.2.1 Disakarida

Disakarida merupakan rantai dua monosakarida yang terhubung melalui ikatan glikosida. Disakarida yang penting sebagai komponen bahan pangan ialah sukrosa, maltosa, laktosa, selobiosa (yang merupakan penyusun selulosa). Disakarida yang terdapat dalam bentuk bebas di alam adalah sukrosa dan laktosa. Semua disakarida yang lainnya terdapat dalam bentuk polisakarida.

#### 2.2.1.1 Sukrosa

Sukrosa terdapat dalam gula tebu, gula bit, dan beberapa buah-buahan. Sukrosa terdiri dari unit  $\alpha$ -D-glukopiranosil (glukosa) dan unit  $\beta$ -D-fruktofuranosil (fruktosa) yang dihubungkan secara *head to head* dimana ujung pereduksi terhubung ke ujung pereduksi (ujung molekul yang memiliki atom karbon anomerik bebas) daripada oleh hubungan *head to tail* yang biasa.

sukrosa tidak termasuk ke dalam gula pereduksi, karena tidak memiliki ujung pereduksi. Ada atau tidaknya sifat pereduksi dari suatu molekul gula ditentukan dengan ada atau tidaknya gugus hidroksil (OH) bebas yang reaktif. Sukrosa tidak mempunyai gugus OH bebas yang reaktif karena keduanya sudah saling terikat.



Gambar 68. Struktur Sukrosa.  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Sukrosa memiliki rotasi optik spesifik  $[\alpha] : +66,5^\circ$ . Campuran equimolar dari D-glukosa dan D-fruktosa yang dihasilkan oleh adanya hidrolisis ikatan glikosidik (oleh asam atau enzim invertase) yang menggabungkan dua unit monosakarida disebut dengan gula invert dan memiliki rotasi optik spesifik  $[\alpha] : -33,3^\circ$ . Proses ini disebut proses inversi.

Sukrosa dan sebagian besar karbohidrat dengan berat molekul rendah lainnya (monosakarida, alditol, disakarida, dan oligosakarida dengan berat molekul rendah lainnya) dapat membentuk larutan konsentrasi tinggi dengan osmolalitas tinggi, karena hidrofilisitas dan kelarutannya yang tinggi. Salah satu contoh dari larutan tersebut adalah madu. Madu tidak memerlukan bahan pengawet, bahkan madu sendiri dapat digunakan sebagai bahan pengawet. Selain itu tidak hanya sebagai pemanis, tetapi madu juga dapat digunakan sebagai humektan.

Enzim sukrase yang terdapat pada saluran usus manusia akan mengkatalisis hidrolisis sukrosa menjadi D-glukosa dan D-fruktosa,

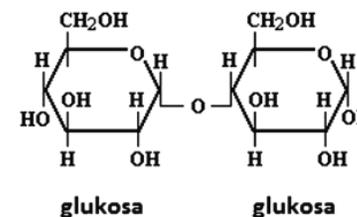
menjadikan sukrosa salah satu dari tiga karbohidrat yang dapat dicerna dan dimanfaatkan manusia untuk energi. Dua karbohidrat lainnya adalah laktosa dan pati. Monosakarida (D-glukosa dan D-fruktosa menjadi nutrisi penting untuk manusia) tidak perlu diubah sebelum penyerapan.

Dalam industri pangan, sukrosa biasanya digunakan dalam bentuk kristal halus atau kasar dan dalam jumlah yang banyak dipergunakan dalam bentuk cairan sukrosa (sirup). Pada pembuatan sirup, sukrosa dilarutkan dalam air dan dipanaskan, dimana sebagian sukrosa akan terurai menjadi glukosa dan fruktosa yang disebut dengan gula invert.

Gula invert merupakan gula yang dihasilkan dari hasil hidrolisis atau pemecahan sukrosa menjadi dua bagian yaitu glukosa dan fruktosa. Inversi sukrosa terjadi dalam suasana asam. Gula invert ini tidak dapat membentuk kristal karena kelarutan fruktosa dan glukosa yang sangat besar. Semakin tinggi suhu, semakin tinggi juga persentase gula invert yang dapat dibentuk.

### 2.2.1.2 Maltosa

Maltosa terdiri dari dua unit glukosa yaitu  $\beta$ -D-glukosil-(1-4)- $\alpha$ -D-glukosa. Unit ujung pereduksi memiliki kelompok aldehida yang berpotensi bebas dan dalam larutan akan berada dalam kesetimbangan dengan bentuk cincin beranggota alfa dan beta. Karena O-4 tersumbat oleh perlekatan unit D-glukopiranosil kedua, cincin furanose tidak dapat terbentuk. Maltosa termasuk ke dalam gula pereduksi. Penyebabnya gugus aldehidnya bebas bereaksi dengan oksidan dan dapat menjalani hampir semua reaksi seolah-olah keberadaannya sebagai aldosa bebas.

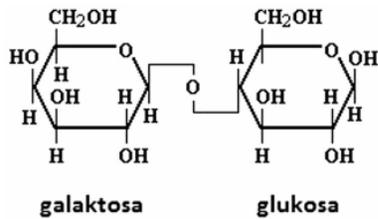


Gambar 69. Struktur Maltosa.  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Maltosa diproduksi oleh hidrolisis pati menggunakan enzim  $\beta$ -amilase. Reaksi ini jarang terjadi di alam dan hanya pada tanaman sebagai hasil hidrolisis parsial pati. Maltosa diproduksi selama proses *malting* biji-bijian, terutama gandum, dan secara komersial oleh hidrolisis pati spesifik katalis enzim menggunakan  $\beta$ -amilase dari spesies *Bacillus*, meskipun  $\beta$ -amilase dari biji barley, kedelai, dan ubi jalar dapat digunakan. Maltosa digunakan sebagai pemanis ringan untuk makanan. Maltosa direduksi menjadi alditol maltitol, yang digunakan dalam cokelat tanpa gula.

### 2.2.1.3 Laktosa

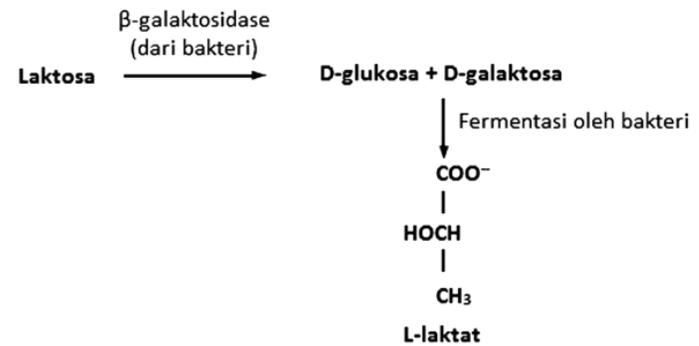
Laktosa terdiri dari glukosa dan galaktosa dengan struktur kimia  $\beta$ -D-galaktosil-(1-4)-D-glukosa. Laktosa termasuk ke dalam golongan gula pereduksi karena memiliki gugus OH bebas pada atom C-1 pada gugus glukosanya. Laktosa terdapat dalam susu dan umumnya dalam bentuk bebas, tetapi sebagian kecil sebagai komponen oligosakarida yang lebih tinggi. Konsentrasi laktosa dalam susu bervariasi dengan sumber mamalia dari 2,0 hingga 8,5%. Susu sapi dan kambing mengandung 4,5-4,8%, ASI sekitar 7%.



Gambar 70. Struktur Laktosa.  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Laktosa adalah sumber karbohidrat utama untuk mengembangkan mamalia. Pada manusia, laktosa merupakan 40% dari energi yang dikonsumsi bayi selama menyusui. Pemanfaatan laktosa untuk energi harus didahului dengan reaksi hidrolisis menjadi D-glukosa dan D-galaktosa, karena hanya monosakarida yang akan diserap pada usus kecil. Susu juga mengandung 0,3%-0,6% oligosakarida yang mengandung laktosa. Banyak diantaranya sebagai sumber energi untuk pertumbuhan varian spesifik *Lactobacillus bifidus*, yang, sebagai hasilnya merupakan mikroorganisme dominan flora usus bayi yang diberi ASI.

Laktosa dicerna dalam susu dan produk olahan susu lainnya yang tidak difermentasi seperti es krim. Produk susu fermentasi, seperti kebanyakan yogurt dan keju, mengandung lebih sedikit laktosa karena selama proses fermentasi beberapa laktosa diubah menjadi asam laktat. Laktosa merangsang adsorpsi usus dan retensi kalsium. Laktosa tidak dicerna sampai mencapai usus kecil, dimana terdapat enzim hidrolitik laktase. Laktase ( $\beta$ -galaktosidase) adalah enzim terikat-membran yang terletak di sel epitel perbatasan sikat dari usus kecil. Enzim ini mengkatalisis hidrolisis laktosa menjadi monosakarida penyusunnya, D-glukosa dan D-galaktosa, yang keduanya dapat dengan cepat diserap dan memasuki aliran darah.



Gambar 71. Reaksi Laktosa pada Usus Besar Orang dengan Defisiensi Laktase.  
(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

Jika karena alasan tertentu, laktosa hanya dicerna sebagian atau tidak dihidrolisis sama sekali. Kondisi ini merupakan suatu sindrom klinis yang disebut dengan intoleransi laktosa (*lactose intolerance*). Jika kekurangan *laktase*, beberapa laktosa tetap berada di lumen usus kecil. Kehadiran laktosa cenderung menarik cairan ke dalam lumen karena adanya proses osmosis. Cairan ini menghasilkan perut kembung dan kram.

Dari usus kecil, laktosa masuk ke usus besar tempat laktosa mengalami fermentasi oleh bakteri anaerob menjadi asam laktat (anion laktat) dan asam rantai pendek lainnya. Peningkatan konsentrasi molekul akan meningkatkan kekuatan osmotik yang selanjutnya akan menghasilkan retensi cairan yang lebih besar. Selain itu, produk asam dari hasil fermentasi akan menurunkan pH dan mengiritasi lapisan usus besar yang mengarah pada peningkatan pergerakan isi usus. Diare disebabkan oleh retensi cairan dan peningkatan pergerakan isi usus. Produk gas fermentasi menyebabkan kembung dan kram.

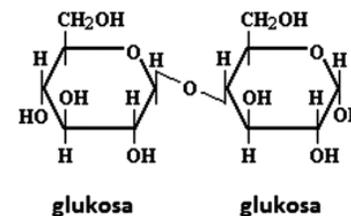
Intoleransi laktosa biasanya tidak terlihat pada anak-anak sampai setelah sekitar 6 tahun. Pada titik ini, insiden pada individu yang tidak

toleran terhadap laktosa mulai meningkat dan meningkat sepanjang hidup dengan insiden terbesar pada lansia. Baik insiden maupun derajat intoleransi laktosa bervariasi berdasarkan kelompok etnis, menunjukkan bahwa ada atau tidak adanya *laktase* berada di bawah kendali genetik.

Ada tiga cara untuk mengatasi efek defisiensi laktase. Salah satunya adalah menghilangkan laktosa dengan fermentasi seperti pada yogurt dan produk-produk *buttermilk* yang dikembangkan. Cara lainnya adalah memproduksi susu bebas laktosa dengan menambahkan enzim *laktase* ke dalamnya. Namun, kedua produk hidrolisis yaitu D-glukosa dan D-galaktosa lebih manis daripada laktosa sehingga apabila dilakukan sekitar 80% hidrolisis maka akan terjadi perubahan rasa yang sangat jelas. Oleh karena itu, sebagian besar susu bebas laktosa memiliki laktosa yang berkurang sedikit mungkin dengan batas yang ditetapkan pemerintah yaitu 70%. Cara yang ketiga adalah dengan mengkonsumsi  $\beta$ -galaktosidase bersama dengan produk susu.

#### 2.2.1.4 Selobiosa

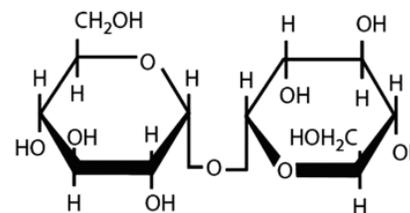
Selobiosa terdiri dari  $\beta$ -glukosa dan  $\alpha$ -glukosa dengan struktur kimia  $\beta$ -D-glukosil-(1-4)-D-glukosa. Selobiosa termasuk ke dalam golongan gula pereduksi. Selobiosa adalah disakarida yang diperoleh dari hidrolisis parsial selulosa. Hidrolisis selobiosa lebih lanjut hanya menghasilkan D-glukosa. Jadi, selobiosa merupakan isomer maltosa. Pada kenyataannya, selobiosa berbeda dari maltosa hanya karena memiliki konfigurasi  $\beta$  pada C-1 dari unit glukosa kiri.



Gambar 72. Struktur Selobiosa.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

#### 2.2.1.5 Trehalosa

Trehalosa ( $\alpha$ -D-glukopiranosil- $\alpha$ -D-glukopiranosida) secara umum disebut gula jamur atau mikosis. Trehalosa adalah gula yang stabil dan tidak mengurangi konformasi yang terdiri dari dua molekul glukosa yang diikat oleh ikatan glikosidik  $\alpha$ ,  $\alpha$  1,1. Setelah ekstraksi etanol atau sintesis enzimatik, trehalosa mengkristal menjadi bentuk dihidrat yang stabil. Trehalosa termasuk ke dalam golongan gula non-pereduksi.



Gambar 73. Struktur Trehalosa.  
(Sumber: Richards dan Dexter, 2011)

Trehalosa juga dapat ditemukan di alam sebagai isomer  $\alpha$ ,  $\beta$  (neotrehalose) dan  $\beta$ ,  $\beta$  (isotrehalose). Namun kedua bentuk trehalosa ini tidak umum dan keduanya memiliki sifat kimia dan fisik yang berbeda dari  $\alpha$ , $\alpha$ -trehalosa. Trehalosa dapat dicerna dengan adanya enzim *trehalase*. Hanya sebagian kecil orang di populasi barat yang kekurangan enzim ini. Intoleransi terhadap trehalosa tampaknya jauh

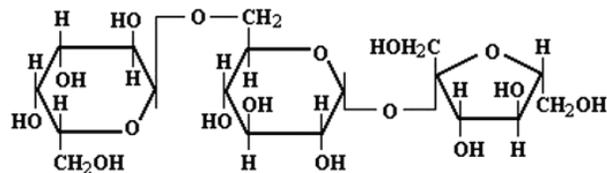
lebih jarang dibandingkan intoleransi terhadap laktosa, dan keduanya diyakini memiliki dasar genetik.

## 2.2.2 Trisakarida

Trisakarida merupakan rantai tiga monosakarida yang terhubung melalui ikatan glikosida. Beberapa trisakarida dapat dijumpai di alam antara lain raffinosa dan maltotriosa. Trisakarida lain yang juga terdapat di alam, misalnya gentianosa terdapat dalam akar gentian, melezitosa dalam madu tanaman, plantosa dalam tanaman plantago.

### 2.2.2.1 Raffinosa

Raffinosa disusun oleh glukosa + galaktosa + fruktosa dengan struktur  $\alpha$ -D-galaktosil-(1-6)- $\alpha$ -D-glukosil-(1-2)- $\beta$ -D-fruktosa. Raffinosa dapat dihidrolisa oleh enzim rafinase dan akan menghasilkan sukrosa dan galaktosa. Apabila suasananya asam akan terbentuk melibiosa dan fruktosa. Raffinosa tidak termasuk ke dalam golongan gula pereduksi, sehingga tidak mengalami reaksi Maillard.



Gambar 74. Struktur Raffinosa.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

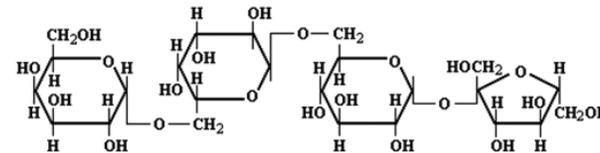
Raffinosa terdapat dalam molase gula bit, kulit biji kapas, kacang polong, brokoli, kubis, ubi dan biji-bijian. Sebagai pemanis, raffinosa diekstrak dari molase gula bit. Raffinosa ditemukan pada daun, batang, dan organ penyimpanan (seperti rhizoma, akar, dan biji) dari tanaman.

Raffinosa dapat dihidrolisis menjadi sukrosa dan galaktosa oleh enzim  $\alpha$ -galaktosidase ( $\alpha$ -GAL). Manusia tidak memiliki enzim  $\alpha$ -GAL

di usus kecilnya untuk memecah trisakarida. Jadi jumlah raffinosa yang lebih besar akan mencapai usus besar, dimana bakteri akan melakukan penguraian dan menghasilkan gas. Hal ini dapat menyebabkan perut kembung. Karena sifatnya yang tidak dapat dihindarkan, raffinosa kadang-kadang digunakan dalam makanan untuk mengurangi kalori.

### 2.2.2.2 Maltotriosa

Maltotriosa disusun oleh tiga unit glukosa dengan ikatan glikosidik  $\alpha$ -(1,4) dan memiliki struktur  $\alpha$ -D-glukosil-(1-4)- $\alpha$ -D-glukosil-(1-4)-D-glukosa. Maltotriosa termasuk ke dalam golongan gula pereduksi.



Gambar 75. Struktur Maltotriosa.  
(Sumber: Nutrientsreview.com)

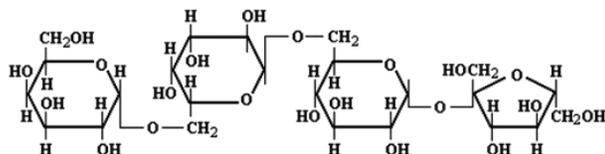
Karena maltotriosa merupakan produk degradasi dari pati, umumnya maltotriosa diproduksi oleh enzim pencernaan  $\alpha$ -amilase, enzim yang umum dalam air liur manusia dan bekerja pada amilosa dalam pati. Maltotriosa dipecah dengan bantuan enzim di usus kecil, yaitu sukrase-isomaltase dan maltase-glukoamilase menjadi 3 molekul glukosa yang kemudian diserap oleh usus.

Maltotriosa merupakan bagian dari glukosa cair (pemanis komersial yang terdiri dari glukosa, maltosa, maltotriosa, dan maltotetrose) dan sirup beras merah. Glukosa cair memiliki kemampuan menjaga air sehingga dapat digunakan dalam roti, kue dan makanan yang melalui proses pemanggangan lainnya.

### 2.2.3 Tetrasakarida

Tetrasakarida merupakan rantai tiga monosakarida yang terhubung melalui ikatan glikosida. Salah satu tetrasakarida yang terdapat secara umum di alam adalah stakiosa.

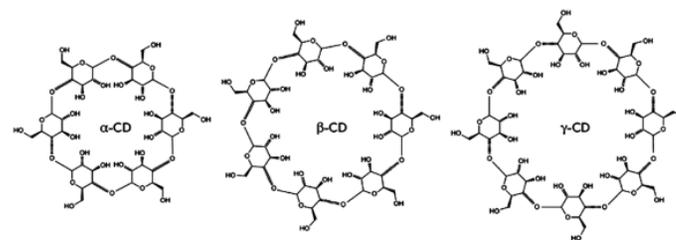
Stakiosa merupakan heteropolisakarida yang disusun oleh dua D-galaktosa + D-glukosa + D-fruktosa, dengan struktur  $\alpha$ -D-galaktosil-(1-6)- $\alpha$ -D-galaktosil-(1-6)- $\alpha$ -D-glukosil-(1-2)- $\beta$ -D-fruktosa. Stakiosa tidak termasuk ke dalam golongan gula pereduksi. Stakiosa banyak dijumpai pada kedelai dan kacang polong. Stakiosa tidak dapat terhidrolisis di saluran pencernaan manusia, tetapi dapat difermentasi oleh bakteri yang terdapat pada usus.



Gambar 76. Struktur Stakiosa.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

### 2.2.4 Siklodekstrin

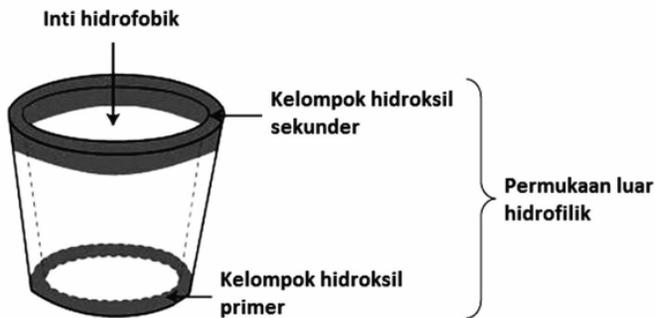
Siklodekstrin, yang sebelumnya dikenal sebagai Schardinger dekstrin dan sikloamilosa merupakan oligosakarida siklik produk hasil modifikasi dari pati yang terdiri dari unit (1  $\rightarrow$  4)  $\alpha$ -D-glukopiranosil yang terhubung. Struktur siklik ini dibentuk dari polimer pati yang terhidrolisis sebagian dan larut karena adanya enzim siklodekstrin glikosiltransferase (CGTase), yang mengkatalisis siklisasi intramolekul dari rantai glukosil. Siklodekstrin terdiri dari enam, tujuh, atau delapan unit glukosa siklodekstrin ini masing-masing disebut sebagai  $\alpha$ -siklodekstrin (6 unit glukosa),  $\beta$ -siklodekstrin (7 unit glukosa), dan  $\gamma$ -siklodekstrin (8 unit glukosa).



Gambar 77. Struktur  $\alpha$ -,  $\beta$ -, dan  $\gamma$ -siklodekstrin.  
(Sumber: Researchgate.net)

Siklodekstrin memiliki geometri berbentuk corong atau seperti donat dengan inti atau rongga hidrofobik internal dan permukaan luar yang bersifat hidrofilik. Adanya bentuk tersebut mengakibatkan siklodekstrin dapat digunakan sebagai kompleks penginklusikan dengan senyawa lain. Siklodekstrin memiliki sifat yang unik, sehingga banyak digunakan dalam industri pangan sebagai antioksidan dan perbaikan tekstur serta stabilitas flavour produk.  $\alpha$ -,  $\beta$ -, dan  $\gamma$ -siklodekstrin diizinkan untuk digunakan dalam makanan (status pengaturan GRAS yang ditegaskan sendiri), hanya  $\beta$ -siklodekstrin yang digunakan pada tingkat yang cukup karena biaya yang lebih rendah (relatif terhadap dua siklodekstrin lainnya).

Siklodekstrin didapat dari siklomaltodekstrin *glukanotransferase* yang dihasilkan dari *Bacillus macerans* pada maltodekstrin. Maltodekstrin merupakan hasil degradasi pati dengan  $\alpha$ -amilase. *Glukanotransferase* ini memutus ikatan  $\alpha$ -1-4 dan mentransfer gugus glukosil ke ujung maltodekstrin yang tidak berkurang dan membentuk glukosida siklik dengan 6-12 unit glukopiranosida. Produk utama yaitu  $\beta$ -siklodekstrin memiliki sifat non-higroskopis dan sedikit manis.



Gambar 78. Penggambaran Bentuk Geometris Ideal dari Siklodekstrin.  
(Sumber : BeMiller dan Huber, 2007)

Siklodekstrin memiliki sifat larut dalam air. Hal ini disebabkan adanya gugus hidroksil pada permukaan molekul luarnya dan masing-masing berbeda untuk tipe  $\alpha$ -,  $\beta$ -, dan  $\gamma$ -.  $\gamma$ -siklodekstrin adalah yang paling larut dalam air, diikuti oleh  $\alpha$ -siklodekstrin. Sedangkan tipe  $\beta$  memiliki kelarutan air terendah karena adanya pita ikatan hidrogen intramolekul yang luas yang mencakup seluruh molekul luar. Rongga internal siklodekstrin bersifat hidrofobik untuk pembentukan kompleks inklusi dengan molekul nonpolar melalui asosiasi hidrofobik dan non-kovalen lainnya. Ukuran rongga dalam akan meningkat ketika jumlah unit glukosa pada siklodekstrin meningkat ( $\gamma > \beta > \alpha$ ).

Tabel 13.

Karakteristik Kimia dari  $\alpha$ -,  $\beta$ -, dan  $\gamma$ -Siklodekstrin.

Karakteristik	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Jumlah unit glukosa	6	7	8
Berat molekul	972	1135	1297
Kelarutan (g/100ml pada 25°C)	14,5	1,9	23,2
Diameter rongga (Å)	4,7-5,3	6,0-6,5	7,5-8,3

(Sumber: BeMiller dan Huber, 2007)

Kemampuan pengompleksan ini merupakan sifat yang paling penting dari siklodekstrin dan fungsi utama penggunaan siklodekstrin pada hampir semua aplikasi bidang pangan dan industri. Dalam bidang pangan, siklodekstrin dapat digunakan untuk flavor, lipid, dan pewarna untuk berbagai tujuan. Siklodekstrin dapat digunakan untuk konstituen kompleks yang tidak diinginkan seperti :

1. Menutupi rasa yang tidak diinginkan, bau, senyawa pahit serta menghilangkan kolesterol dan asam lemak bebas (FFA).
2. Menstabilkan oksidasi kimia, misalnya perlindungan flavor; mengikat prekursor fenolik *browning* enzimatis.
3. Meningkatkan flavor yang tidak larut dalam air (lipofilik).
4. Meningkatkan stabilitas fisik bahan makanan seperti enkapsulasi volatil, pelepasan flavor yang terkontrol.

Tabel 14.

Struktur dan Sumber Oligosakarida.

Nama	Struktur	Sumber
Selobiosa	$\beta$ -D-glukopiranosil-(1-4)-D-glukopiranososa	Pembentuk selulosa
Gentiobiosa	$\beta$ -D-glukopiranosil-(1-6)-D-glukopiranososa	Glikosida (amygdalin)
Isomaltosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-4)-D-glukopiranososa	Dalam larutan induk produksi glukosa dari pati
Laktosa	$\beta$ -D-galaktopiranosil-(1-4)-D-glukopiranososa	Susu
Laktulosa	$\beta$ -D-galaktopiranosil-(1-4)-D-fruktopiranososa	Produk konversi dari laktosa
Maltosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-4)-D-glukopiranososa	Pembentuk pati, gula bit dan madu

Maltulosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-4)-D-fruktopiranosida	Produk konversi dari maltosa, madu dan bir
Melibiosa	$\alpha$ -D-galaktopiranosil-(1-6)-D-glukopiranosida	Biji kakao
Neohesperidosa	$\alpha$ -L-rhamnopiranosil-(1-2)-D-glukopiranosida	Glikosida (naringin, neohesperidin)
Neotrehalosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-1)- $\beta$ -D-glukopiranosida	Ekstrak koji
Nigerosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-3)-D-glukopiranosida	Madu dan bir
Palatinosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-6)-D-fruktopiranosida	Produk hasil mikroba dari sukrosa
Rutinosa	$\alpha$ -L-rhamnopiranosil-(1-6)-D-glukopiranosida	Glikosida (hesperidin)
Sukrosa	$\beta$ -D-fruktofuranosil-(2-1)- $\alpha$ -D-glukopiranosida	Gula bit, tebu dan tersebar luas di banyak tanaman
Sophorosa	$\beta$ -D-glukopiranosil-(1-2)-D-glukopiranosida	Polong-polongan
Trehalosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-1)- $\alpha$ -D-glukopiranosida	Ergot ( <i>Claviceps purpurea</i> ), jamur muda

Trisakarida	Fucosidolaktosa	$\alpha$ -D-fukopiranosil-(1-2)- $\beta$ - $\alpha$ -galaktopiranosil-(1-4)-D-galaktopiranosida	ASI
	Gentianosa	$\beta$ -D-glukopiranosil-(1-6)- $\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-2)- $\beta$ -D-fruktofuranosida	Rhizoma gentian
	Isoketosa (1-kestosa)	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-2)- $\beta$ -D-fuktofuranosil-(1-2)- $\beta$ -D-fruktofuranosida	Produk dari enzim sukrose pada sukrosa sebagai substrat
	Ketosa (6-Ketosa)	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-2)- $\beta$ -D-fruktofuranosil-(6-2)- $\beta$ -D-fruktofuranosida	Madu dan sukrosa yang mengalami aktivitas ragi sukrase
	Maltoriosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-4)- $\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-4)-D-glukopiranosida	Produk degradasi dari pati dan sirup pati
	Manninotriosa	$\alpha$ -D-galaktopiranosil-(1-6)- $\alpha$ -D-galaktopiranosil-(1-6)-D-glukopiranosida	Manna
	Melezitosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-3)- $\beta$ -D-fruktofuranosil-(2-1)- $\alpha$ -D-glukopiranosida	Manna dan nektar
	Neokestosa	$\beta$ -D-fruktofuranosil-(2-6)- $\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-2)- $\beta$ -D-fruktofuranosida	Produk dari enzim sukrose pada sukrosa sebagai substrat

	Panosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-6)- $\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-4)-D-glukopiranososa	Madu dan produk degradasi dari amilopektin
	Raffinosa	$\alpha$ -D-galaktopiranosil-(1-6)- $\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-2)- $\beta$ -D-fruktofuranosa	Gula bit, tebu, dan tersebar luas di banyak tanaman
Tetrasakarida	Maltotetraosa	$\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-4)- $\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-4)- $\alpha$ -D-glukopiranososa	Sirup pati
	Stakiosa	$\alpha$ -D-galaktopiranosil-(1-6)- $\alpha$ -D-galaktopiranosil-(1-6)- $\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-2)- $\beta$ -D-fruktofuranosa	Tersebar luas di banyak tanaman (artichoke, kedelai, kacang polong)
Oligosakarida yang lebih besar	Maltopentaosa	$[\alpha$ -D-glukopiranosil-(1-4)] <sub>4</sub> -D-glukopiranososa	Sirup pati
	$\alpha$ -Schardinger-Dextrin	Sikloheksaglukan ( $\alpha$ ,1-4)	Produk dari <i>Bacillus macerans</i> pada sirup pati
	$\beta$ -Schardinger-Dextrin	Sikloheptaglukan ( $\alpha$ ,1-4)	
	$\gamma$ -Schardinger-Dextrin	Siklooktaglukan ( $\alpha$ ,1-4)	

(Sumber: Belitz *et. al.*, 2009)

## 2.3 Polisakarida

Polisakarida adalah molekul kompleks yang terdiri dari sejumlah besar unit monosakarida yang bergabung bersama oleh ikatan glikosidik. Seperti oligosakarida, polisakarida terdiri dari unit glikosil dengan rantai lurus atau bercabang, tetapi kebanyakan jauh lebih besar dari batas 10 atau 20 unit oligosakarida.

Jumlah unit monosakarida dalam polisakarida, yang disebut derajat polimerisasi (DP) sangat bervariasi. Hanya beberapa polisakarida yang memiliki DP kurang dari 100, kebanyakan memiliki DP dalam kisaran 200-3.000. polisakarida yang lebih besar seperti selulosa memiliki DP 7,000-15,000. Amilopektin pada pati bahkan lebih besar, berat molekul rata-rata minimal 107 (DP > 60.000). Diperkirakan lebih dari 90% massa karbohidrat di alam adalah dalam bentuk polisakarida.

Polisakarida bersifat amorf, tidak berwarna dan hampir tidak berasa. Pada makhluk hidup, polisakarida merupakan konstituen jaringan struktur, misalnya selulosa dalam tanaman. Polisakarida sangat penting dalam kaitannya dengan karakteristik bahan dan produk pangan, yaitu berupa karakteristik sensoris: tekstur, viskositas, *mouthfeel*, konsistensi, *gelation*, *toughness*, dan sebagainya.

Istilah ilmiah umum untuk polisakarida adalah glikan. Polisakarida yang terdiri dari jenis monosakarida yang sama (homogen) maka disebut homoglikan atau dapat pula disebut dengan homopolisakarida. Contoh homopolisakarida adalah selulosa. Amilosa untuk yang memiliki rantai lurus dan amilopektin untuk yang memiliki rantai bercabang. Ketiganya hanya terdiri dari unit D-glukopiranosil. Sedangkan polisakarida yang terdiri dari dua atau lebih unit monosakarida yang berbeda disebut dengan heteroglikan atau heteropolisakarida. Polisakarida yang terdiri dari dua unit monosakarida yang berbeda disebut dengan diheteroglikan seperti contoh alginat dan polisakarida yang terdiri dari tiga unit monosakarida yang berbeda adalah triheteroglikan dan seterusnya.

1 Struktur rantai polisakarida bisa dalam bentuk rantai lurus, misalnya amilosa, selulosa atau dalam bentuk rantai bercabang misalnya amilopektin, glikogen. Struktur rantai polisakarida tergantung posisi, jenis ikatan dan konformasi unit monosakarida penyusunnya. Berdasarkan struktur kimianya, polisakarida dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu homopolisakarida, heteropolisakarida, dan polisakarida majemuk.

Homopolisakarida merupakan polimer karbohidrat yang disusun oleh beberapa unit monosakarida sejenis, misalnya selulosa, pati dan glikogen. Heteropolisakarida merupakan polimer karbohidrat dengan berat molekul yang tinggi dan disusun oleh dua macam komponen atau lebih jenis monosakarida yang berbeda-beda, misalnya agar, karagenan, alginat, gum, hemiselulosa dan pektin. Sedangkan polisakarida majemuk disusun oleh sakarida dan protein atau lipida, misalnya glikoprotein, dan asam mukopolisakarida.

### 2.3.1 Pati

Pati merupakan polimer glukosa dengan ikatan glikosidik yang memiliki rumus molekul  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , dimana rumus molekul pati secara pasti belum diketahui. Karakteristik kimia dan fisik yang unik dan aspek gizi dari pati membedakannya dari semua karbohidrat lainnya. Pati adalah zat cadangan makanan yang dominan pada tanaman dan memberikan 70%-80% kalori yang dikonsumsi manusia di seluruh dunia. Pati terdapat hampir di semua tanaman pada bagian akar, umbi akar, biji, batang, dan beberapa buah-buahan.



Gambar 79. Beberapa Sumber Pati Komersial.  
(Sumber : pinterest.com)

Pati komersial diperoleh dari biji-bijian, terutama dari jagung, jagung berkilin, jagung dengan amilosa tinggi, gandum, berbagai varietas beras, umbi-umbian terutama kentang dan singkong (tepung tapioka). Pati dan pati modifikasi banyak digunakan dalam produk pangan, termasuk sebagai perekat, pengikat, pembentukan *film/coating*, pembentuk gel, *glazing*, penahan kelembaban, penstabil, tekstur, dan *thickening*.

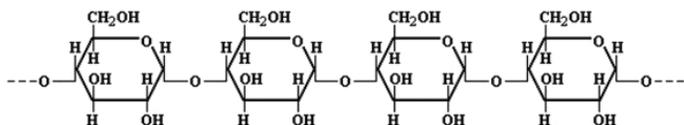
Suatu dispersi atau pasta mengandung dua macam pati yaitu amilosa dan amilopektin. Apabila dilakukan hidrolisa parsial oleh asam akan dihasilkan campuran kompleks berupa dekstrin, maltosa, dan glukosa. Apabila dilakukan hidrolisa sempurna akan dihasilkan D-glukosa. Dispersi koloid dari pati yang dihidrolisa oleh enzim *amilase* akan dihasilkan maltosa dan glukosa.

Berbagai macam pati tidak akan sama sifatnya, tergantung dari panjang rantai C-nya, serta apakah rantai tersebut lurus atau bercabang.

Pati tersusun dari dua polimer karbohidrat yang dapat dipisahkan dengan air panas, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer penyusun pati dengan struktur yang tidak bercabang dan merupakan fraksi yang larut dalam air, sedangkan amilopektin merupakan polimer penyusun pati dengan struktur bercabang, tidak larut dalam air dan cenderung bersifat lengket.

### 1. Amilosa

Amilosa merupakan polimer penyusun pati yang memiliki rantai lurus yang terdiri dari 250 - 2.000 glukosa yang berikatan melalui ikatan glukosida  $\alpha$ -D-(1-4) dan merupakan pengulangan dari unit-unit maltosa.



Gambar 80. Bagian Molekul Amilosa.

(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Banyak molekul amilosa mengandung beberapa cabang yang dihubungkan oleh ikatan  $\alpha$ -D-(1-6) pada titik-titik cabang. Sekitar 1 dari 180-320 unit, atau 0,3-0,5% dari rantai amilosa adalah titik cabang. Cabang-cabang dalam molekul amilosa bercabang sangat panjang atau sangat pendek, dan sebagian besar titik cabang dipisahkan oleh jarak yang jauh sehingga sifat fisik molekul amilosa pada dasarnya memiliki rantai yang lurus. Molekul amilosa memiliki berat molekul rata-rata sekitar 106.

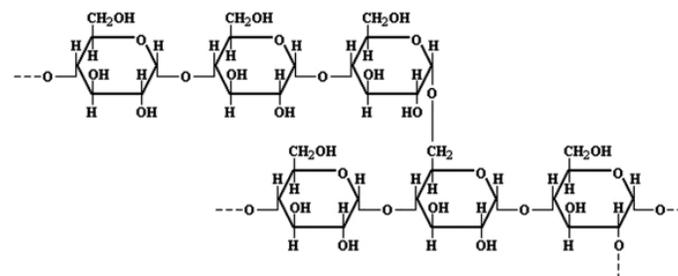
Dalam larutan encer, amilosa-amilosa dengan mudah bergabung membentuk endapan. Molekul rantai lurus ini cenderung bergabung dengan molekul lainnya dalam susunan paralel berikatan melalui jembatan hidrogen sehingga afini-

tasnya terhadap air menurun. Ukuran agregat ini makin membesar yang akhirnya membentuk endapan. Peristiwa ini disebut retrogradasi.

Sebagian besar pati mengandung 20%-30% amilosa dan beberapa komoditi mengandung amilosa yang lebih besar. Kandungan amilosa dalam pati dari tanaman yang berbeda akan berbeda pula, misalnya tapioka (17%), kentang (22%), jagung (28%), kacang-kacangan (70%), beras ketan (70%).

### 2. Amilopektin

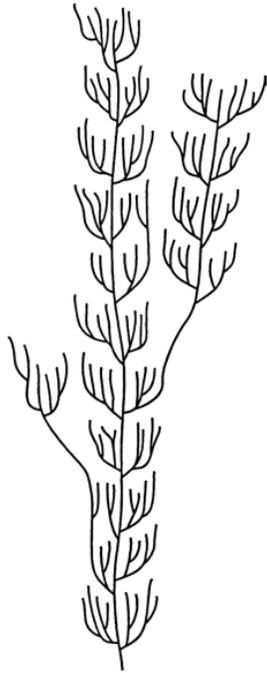
Amilosa merupakan polimer penyusun pati yang memiliki rantai cabang, dengan titik cabang sekitar 4%-5% dari berat total rantai amilopektin, dimana setiap cabang dari pengulangan cabang mengandung 15 - 25 glukosa yang berikatan  $\alpha$ -(1-4) dengan titik-titik cabang ikatan  $\alpha$ -(1-6).



Gambar 81. Bagian Molekul Amilopektin.

(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Cabang-cabang molekul amilopektin berkerumun dan berbentuk *double helix*. Berat molekul amilopektin sekitar 107 (DP ~60.000) hingga mungkin  $5 \times 10^8$  (DP ~3.000.000) membuat molekul amilopektin menjadi molekul terbesar yang dapat ditemukan di alam.



Gambar 82. Representasi Sebagian Molekul Amilopektin.  
(Sumber : BeMiller dan Huber, 2007)

Amilopektin terdapat pada semua molekul pati, dimana granula pati normal mengandung sekitar 70%-80% amilopektin. Beberapa pati yang seluruhnya terdiri dari amilopektin disebut pati lilin atau pati amilopektin, contohnya pada komoditi beras, jagung dan millet yang mengandung hampir 100% amilopektin dan disebut sebagai beras ketan (*waxy rice/ glutinous rice*), jagung ketan (*waxy maize*) dan *waxy millet*.

Retrogradasi amilopektin (bagian 2.3.1.3) berjalan sangat lambat sehingga amilopektin sangat tahan terhadap pembentukan gel, demikian juga sifat-sifat ikatannya terhadap air.

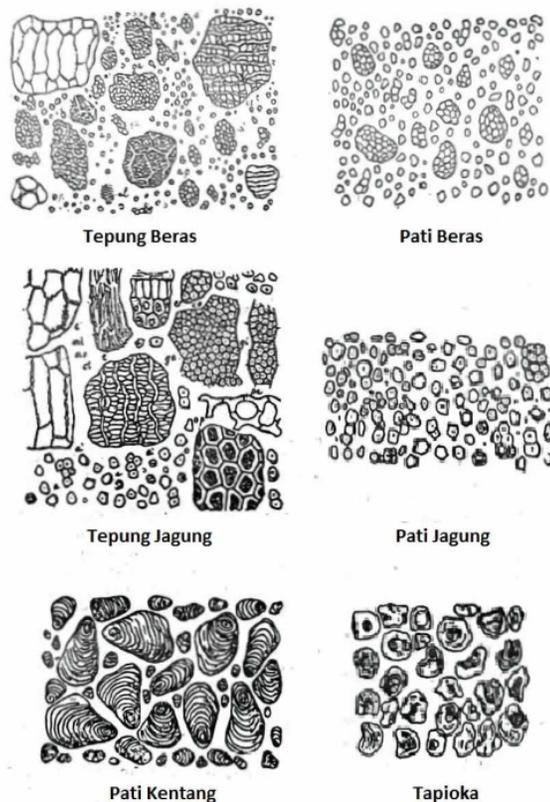
Peranan perbandingan amilosa dan amilopektin sangat terlihat pada serealia, contohnya pada beras. Apabila kandungan amilosa semakin kecil atau kandungan amilopektin semakin tinggi, maka tekstur nasi akan semakin lekat. Beras ketan praktis tidak memiliki kandungan amilosa (sekitar 1%-2%), sedangkan beras yang mengandung amilosa lebih besar dari 2% disebut dengan beras biasa atau beras bukan ketan.

Berdasarkan kandungan amilosanya, beras (nasi) dapat dibagi menjadi empat golongan, yaitu:

1. Beras dengan kadar amilosa tinggi, sekitar 25%-33%.
2. Beras dengan kadar amilosa menengah, sekitar 20%-25%.
3. Beras dengan kadar amilosa rendah, sekitar 9%-20%.
4. Beras dengan kadar amilosa sangat rendah, kurang dari 9%.

### 2,3,1,1 Granula Pati

Dalam jaringan tanaman, pati ditemukan dengan bentuk granula yang berbeda-beda. Dengan mikroskop jenis pati dapat dibedakan karena mempunyai bentuk, ukuran, distribusi ukuran, komposisi dan letak hilum yang unik. Granula pati terbentuk dalam amiloplas. Granula ini memiliki bentuk yang sederhana atau majemuk dan terdiri dari lapisan yang konsentris atau eksentris dengan kepadatan yang bervariasi. Ukuran granulanya bervariasi, sekitar 2  $\mu\text{m}$  -150  $\mu\text{m}$ .



Gambar 83. Bentuk Beberapa Granula Pati dari Beberapa Komoditi.  
(Sumber: Winarno, 1992)

### 2.3.1.2 Gelatinisasi

Granula pati tidak larut dalam air dingin tetapi apabila pati dimasukkan ke dalam air dingin, granula pati akan mengabsorpsi air dan membengkak perlahan-lahan tetapi "pembengkakannya" terbatas. Air yang terserap oleh granula menghasilkan bubur dengan viskositas rendah. Peningkatan volume granula pati yang terjadi dalam air pada

suhu antara 55°C -65°C merupakan pembengkakan yang sesungguhnya. Peristiwa ini bersifat reversibel misalnya bila dikeringkan maka akan mengkerut.

Berbeda halnya bila pati ditambahkan dengan air mendidih dengan suhu sekitar 80°C, maka pati akan membengkak maksimum hingga pecah, hancur tidak dapat kembali pada kondisi semula dan dihasilkan bentuk pasta. Peristiwa ini disebut gelatinisasi.

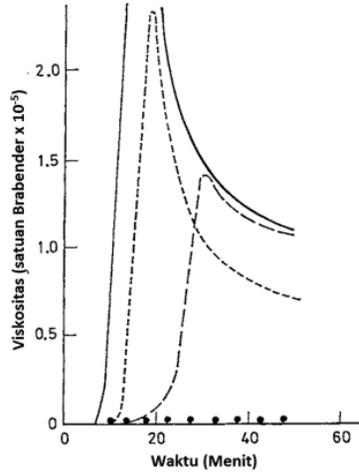
Bila suspensi pati dalam air dipanaskan, beberapa perubahan selama terjadinya gelatinisasi dapat diamati. Mula-mula suspensi pati yang keruh seperti susu tiba-tiba mulai menjadi jernih pada suhu tertentu, tergantung jenis pati yang digunakan. Terjadinya translusi larutan pati tersebut biasanya diikuti dengan pembengkakan granula. Hal ini disebabkan energi kinetik molekul air menjadi lebih kuat daripada daya tarik menarik antarmolekul pati di dalam granula, sehingga air dapat masuk ke dalam granula pati dan indeks refraksi granula pati yang membengkak mendekati indeks refraksi air sehingga menjadi translusen.

Kemampuan molekul pati dalam menyerap air sangat besar, dimana hal ini disebabkan oleh jumlah gugus hidroksil dalam molekul pati yang sangat besar. Sebelum suspensi dipanaskan, air yang secara bebas berada di luar granula. Tetapi setelah dipanaskan, air sudah berada dalam granula-granula pati dan tidak dapat bergerak bebas lagi sehingga terjadi peningkatan viskositas.

Pati yang sudah mengalami gelatinisasi dapat dikeringkan, tetapi molekul-molekul tersebut tidak dapat kembali lagi ke sifat-sifatnya sebelum terjadi gelatinisasi. Pati yang telah kering tersebut masih mampu untuk menyerap air kembali dalam jumlah besar. Sifat inilah yang digunakan agar nasi instan dan pudding instan dapat menyerap air kembali dengan mudah.

Suhu pada saat granula pati pecah disebut suhu gelatinisasi dimana suhu gelatinisasi akan berbeda-beda bagi tiap jenis pati. Suhu gelatinisasi tergantung pada konsentrasi pati. Semakin kental larutan, suhu tersebut

semakin lambat tercapai, sampai pada suhu tertentu kekentalan pati tidak akan bertambah, bahkan kadang-kadang kekentalannya turun.



Gambar 84. Kurva Viskositas Berbagai Macam Pati pada Suhu Gelatinisasi. (Sumber: Belitz *et. al.*, 2009)

Kurva di bawah menunjukkan viskositas dari gelatinisasi berbagai pati (— kentang, - - - jagung waxy, - - - jagung, dan ••• pati amylo maize) yang dihitung menggunakan viskoamilograph Brabender. 40 g pati dilarutkan pada 460 ml air pada temperatur awal 50°C yang dipanaskan hingga 95°C dengan laju 1,5°C per menit dan didiamkan selama 30 menit pada suhu 95°C.

Tabel 15  
Bentuk, Komposisi dan Sifat dari Beberapa Granula Pati.

Sumber pati	Bentuk	Diameter (µm)	Suhu Gelatinisasi	Pembengkakan pada suhu 95°C* Kadar (%)	Amilosa		Amilopektin	
					DP	DP**		
Serealia	Gandum	2-55	53-65	21	22-28	2100	19-20	
	Jagung	2-30	62-70	24	28	940	25-26	
	Amylo maize	5-25	67-87	64	52-80	1300	23	
	Jagung waxy	2-30	63-72	64	0-1		20-22	
	Oat	5-15	56-62		27	1300	20	
	Beras	3-8	61-78	19	14-32			
	Beras ketan		55-65	56	1			
	Millet	Polihedral, bulat	4-12	69-75	22			
	Sorgum	Polihedral, bulat	4-24			21-34		
	Sorgum waxy			68-74	49			
Polong-polongan	Buncis kuda	Bulat, oval	17-31	64-67	32-34	1800	23	
	Kacang polong	Seperti ginjal	5-10	57-70				
	Halus	Sederhana	30-40		33-35	1300	26	
	Berkerut	Majemuk			63-75	1100	27	
Umbi dan Akar	Kentang	Elips	5-100	58-66	23	3200	24	
	Singkong	Bulat, semi bulat	5-35	52-64	17			

(Sumber: Belitz *et. al.*, 2009; BeMiller dan Huber, 2007)

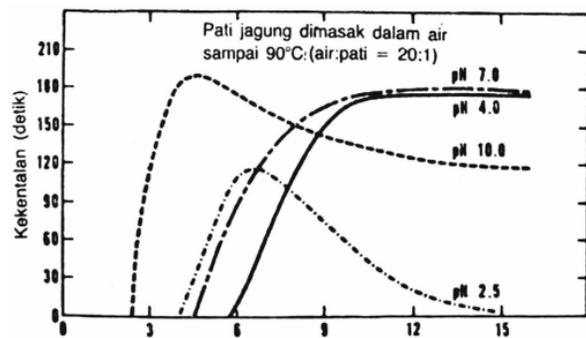
\* Berdasarkan berat keringnya

\*\* Berdasarkan degradasi cabang dengan pullulanase atau isoamilase

Selain terjadi pembengkakan granula pati yang bersifat *irreversible* (tidak dapat kembali pada kondisi semula), proses gelatinisasi pati juga meliputi kehilangan sifat *birefringent* dan hilangnya kristalinitas. Granula pati mempunyai sifat merefleksikan cahaya terpolarisasi sehingga apabila dilihat dibawah mikroskop polarisasi yang diatur pada 90°, granula pati akan terlihat seperti kristal hitam putih. Sifat ini disebut dengan *birefringent*. Pada saat granula pati mulai pecah, maka sifat *birefringent* ini akan menghilang.

Kisaran suhu yang menyebabkan 90% granula pati membengkak sehingga tidak dapat kembali pada kondisi semula disebut dengan *Birefringent End Point Temperature* (BEPT). Beras-beras yang ada di pasaran mempunyai nilai BEPT yang berbeda-beda tingkatannya yaitu BEPT rendah dengan suhu sekitar 55°C -69°C, BEPT sedang dengan suhu sekitar 70-74°C, dan BEPT tinggi dengan suhu sekitar 75-77°C.

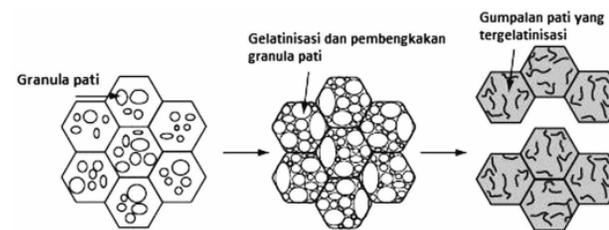
Proses gelatinisasi ini dipengaruhi pula oleh pH larutan. Pembentukan gel optimum pada kisaran pH 4-7. Bila pH terlalu tinggi, pembentukan gel semakin cepat tercapai tetapi cepat untuk turun kembali. Sedangkan bila pH terlalu rendah pembentukan gel akan terjadi dengan lambat dan bila pemanasan diteruskan, maka viskositas akan turun lagi.



Gambar 85. Pengaruh pH pada Pembentukan Gel dan Pemecahan Pati Jagung. (Sumber: Winarno, 1992)

Penambahan gula juga berpengaruh pada kekentalan gel yang terbentuk. Adanya gula akan menurunkan kekentalan. Keadaan ini disebabkan gula akan mengikat air, sehingga pembengkakan granula-granula pati menjadi lebih lambat. Akibatnya suhu gelatinisasi lebih tinggi. Adanya gula akan menyebabkan gel lebih tahan terhadap kerusakan mekanik.

Granula pati yang berada di dalam sel juga mengalami pembengkakan dan gelatinisasi selama proses pemanasan, serta menyebabkan tekanan akibat pembengkakan sementara di dinding sel sekitarnya. Dengan adanya pemanasan lebih lanjut, granula pati berevolusi menjadi gumpalan pati yang tergelatinisasi cukup seragam di dalam sel. Jaringan yang dipanaskan menjadi rentan terhadap pemisahan sel karena adanya degradasi pektin, walaupun demikian tekanan akibat pembengkakan pati diduga memiliki peran yang signifikan.



Gambar 86. Gelatinisasi pada Sel. (Sumber : BeMiller dan Huber, 2007)

Pada beberapa produk yang dipanggang, granula pati dapat tetap tidak tergelatinisasi bahkan ketika dipanaskan hingga suhu tinggi. Dalam beberapa produk *pastry* dan biskuit yang tinggi lemak dan kadar airnya rendah, sekitar 90% granula tepung gandum tetap tidak tergelatinisasi. Sedangkan pada produk seperti roti dan kue yang memiliki kadar air yang lebih tinggi. Sekitar 96% granula pati gandum tergelatinisasi, tetapi karena dipanaskannya tanpa penghancuran maka bentuk granula patinya masih utuh dan dapat dipisahkan meskipun banyak yang sudah pecah.

### 2.3.1.3 Retrogradasi

Pasta pati yang panas dan mengalami gelatinisasi terdiri dari granula-granula yang membengkak tersuspensi dalam air panas dan molekul-molekul amilosa yang terdispersi dalam air. Molekul-molekul amilosa tersebut akan terus terdispersi selama pati tersebut tetap dalam keadaan panas sehingga pasta yang berada dalam keadaan panas memiliki kemampuan untuk mengalir, fleksibel dan tidak kaku.

Bila pasta tersebut kemudian dingin, maka pasta pati akan semakin tidak larut karena energi kinetik tidak lagi cukup tinggi untuk melawan kecenderungan molekul-molekul amilosa untuk bersatu kembali. Molekul-molekul amilosa akan berikatan kembali satu sama lain serta berikatan dengan cabang amilopektin pada pinggir-pinggir luar granula, sehingga terbentuk semacam jaring-jaring yang membentuk mikrokristal dan mengendap. Proses kristalisasi kembali pati yang telah mengalami gelatinisasi tersebut disebut dengan retrogradasi. Proses retrogradasi umumnya menghasilkan gel viskoelastik yang keras.

Amilosa mengalami retrogradasi pada kecepatan yang jauh lebih cepat daripada amilopektin, karena retrogradasi amilopektin melibatkan gabungan cabang amilopektin pada pinggir-pinggir luar granula. Laju retrogradasi tergantung pada beberapa variabel, termasuk rasio molekul amilosa terhadap amilopektin, struktur molekul amilosa dan amilopektin, suhu, konsentrasi pati serta keberadaan dan konsentrasi bahan lainnya terutama surfaktan dan garam.

Proses retrogradasi umumnya menyebabkan cacat kualitas pada sebagian produk pangan, misalnya pada roti yang basi dan mengeras, menurunnya viskositas pada produk yang viskositasnya tinggi dan pembentukan endapan dalam sup atau saus.

### 2.3.1.4 Pati Modifikasi

Sifat pati serta amilosa dan amilopektin dapat ditingkatkan atau disesuaikan dengan adanya metode fisik dan kimia untuk menyesuaikan pada aplikasi dalam bidang pangan. Salah satu contoh pati yang dimodifikasi adalah dekstrin.

Dekstrin merupakan hasil degradasi pati oleh adanya aktivitas enzim, asam, dan panas hingga 100°C-200°C. Dekstrin berbentuk serbuk putih atau kuning yang akan menghasilkan larutan yang sangat jernih atau keruh dengan viskositas yang bermacam-macam. Dekstrin umumnya digunakan sebagai perekat dalam permen dan sebagai pengganti lemak.

Terdapat tiga macam dekstrin hasil hidrolisa pati, yaitu: amilodekstrin atau disebut *soluble starch*, eritrodekstrin, dan achroodekstrin. Amilodekstrin bila direaksikan dengan iodin akan memberikan warna biru. Eritrodekstrin bila direaksikan dengan iodin akan memberikan warna merah. Sedangkan achroodekstrin bila direaksikan dengan iodin akan memberikan hasil tidak berwarna. Secara komersial, *soluble starch* dibuat dengan memanaskan pati kering pada suhu (230°C-260°C). Dekstrin larut dalam air dan membentuk endapan dalam larutan encer bila ditambah alkohol.

### 2.3.1.5 Reaksi Pati dengan Iodin

Pati yang berikatan dengan iodin ( $I_2$ ) akan menghasilkan warna biru. Sifat ini digunakan untuk menganalisis adanya pati. Hal ini disebabkan oleh struktur molekul pati yang berbentuk spiral, sehingga akan mengikat molekul iodin dan terbentuk warna biru. Bila pati dipanaskan, spiral akan merenggang dan molekul-molekul iodin terlepas sehingga warna biru akan menghilang.

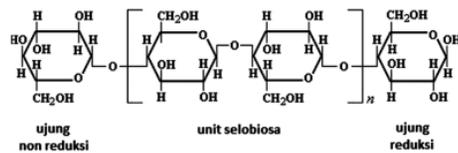


Gambar 87. Pati yang Ditambahkan Iodin Menjadi Warna Biru.

Pati akan merefleksikan warna biru bila berupa polimer glukosa yang polimernya kurang dari 20, misalnya molekul amilosa. Bila polimernya kurang dari 20, seperti pada amilopektin, maka akan dihasilkan warna merah. Sedangkan pati dengan polimer 6,7,8, seperti pada dekstrin, akan membentuk warna coklat. Untuk pati dengan polimer lebih kecil dari 5 tidak akan memberikan warna apapun dengan iodine.

### 2.3.2 Selulosa

Secara kimiawi selulosa merupakan polimer linier dari unit-unit D-glukosa yang berikatan melalui ikatan  $\beta$ -(1-4) sebagai selobiosa dan memiliki rantai yang lurus. Selulosa memiliki DP yang berkisar antara 1000-14.000. Selulosa merupakan serat-serat panjang yang terdapat pada jaringan dinding sel tanaman bersama-sama dengan hemiselulosa, pektin dan protein. Umumnya ditemukan di semua buah dan sayuran dan terdapat pada daun, batang dan kulit tanaman sebagai komponen struktural.



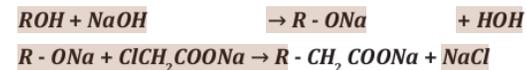
Gambar 88. Struktur Selulosa.  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Selulosa dan bentuk modifikasinya berfungsi sebagai serat makanan karena tidak dapat dicerna dan tidak berkontribusi terhadap nutrisi atau kalori yang signifikan saat melewati sistem pencernaan manusia. Serat makanan penting untuk nutrisi manusia. Selulosa tidak larut dalam air, sangat tahan terhadap reaksi kimia biasa dan tidak dapat dicerna disebut *crude fibre*. Untuk dapat larut dalam air, sebagian besar ikatan hidrogennya harus dilepaskan sekaligus. Selain itu, dapat melalui reaksi derivatisasi, dimana selulosa diubah menjadi gum yang larut dalam air.

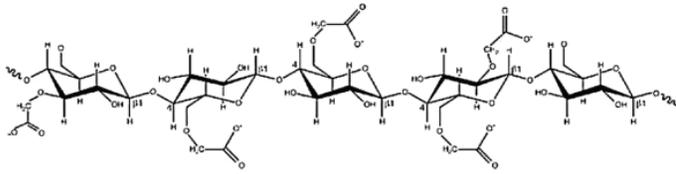
Bubuk selulosa murni tersedia sebagai bahan pangan. Selulosa berkualitas tinggi dapat diperoleh dari kayu melalui pembuatan *pulp* dan proses pemurnian. Selulosa bubuk paling sering ditambahkan ke roti untuk menambahkan kandungan serat. Produk *bakery* dengan kalori rendah yang dibuat dengan selulosa bubuk tidak hanya memiliki kandungan serat makanan yang meningkat, tetapi juga akan tetap lembab dan segar lebih lama.

#### 2.3.2.1 Karboksimetil Selulosa (CMC)

Karboksimetil selulosa (CMC) merupakan turunan selulosa dan merupakan hasil reaksi dari selulosa murni dengan NaOH (alkali) dan asam kloroasetat.



Sifat dari CMC tergantung pada derajat substitusi (DS; 0,3-0,9) dan derajat polimerisasi (DP; 500-2000). Tipe substitusi rendah ( $DS \leq 0.3$ ) tidak larut dalam air tetapi larut dalam alkali, sedangkan tipe DS yang lebih tinggi ( $> 0,4$ ) larut dalam air.



Gambar 89. Struktur Karboksimetil Selulosa.

(Sumber: Nieto, 2009)

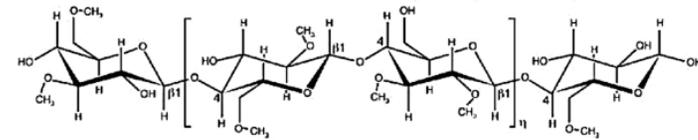
Kelas viskositas CMC bervariasi tergantung dengan derajat polimerisasi (DP) dan berat molekul. CMC dengan berat molekul yang lebih kecil atau DP yang lebih rendah akan menghasilkan larutan dengan viskositas yang lebih rendah daripada CMC berat molekul yang lebih besar atau DP yang lebih tinggi, hal ini disebabkan oleh panjang rantai struktur CMC. Viskositas larutan CMC dipengaruhi oleh pH larutan, dimana pH optimumnya adalah 5 dan bila pH larutan terlalu rendah (>3) CMC akan mengendap, karena CMC mempunyai gugus karboksil.

CMC adalah zat pengikat dan *thickening* inert yang digunakan untuk menyesuaikan atau meningkatkan tekstur banyak produk pangan seperti jeli, isian pasta, keju oles, *dressing salad*, isian kue dan es krim. CMC dapat menghambat pembentukan kristal es dalam es krim serta menstabilkan tekstur dan kristal laktosa yang terbentuk sehingga menjadi halus dan lembut. CMC dapat memperlambat kristalisasi sukrosa yang tidak diinginkan dalam proses pembuatan permen dan menghambat retrogradasi pati atau "apek" yang tidak diinginkan pada produk yang dipanggang. Selain itu, CMC dapat meningkatkan stabilitas dan karakteristik rehidrasi dari banyak produk makanan dehidrasi.

### 2.3.2.2 Metilselulosa (MC)

Metilselulosa adalah selulosa eter yang diturunkan secara kimia dengan tingkat substitusi metil 1,6-1,9 pada posisi unit glukosa 0-6, 0-2 atau 0-3. Struktur dari metilselulosa berbentuk linear dan non ionik. Penambahan gugus metil eter ke struktur selulosa membuka

strukturnya, dan karena hambatan sterik, metilselulosa tidak berasosiasi kembali menjadi mikrofibril ketika dikeringkan, tidak seperti selulosa induknya yang tidak larut. Substitusi kimia inilah yang membuat metilselulosa larut dalam air dingin, dengan terjadinya hidrasi serta ikatan hidrogen dengan air. Meskipun substitusi mengurangi jumlah gugus hidroksil bebas pada molekul selulosa, gugus metil eter masih dapat terjadi ikatan hidrogen dengan air dan ikatan hidrogen antar molekul.



Gambar 90. Struktur Metilselulosa.

(Sumber: Nieto, 2009)

Metilselulosa memiliki tingkat kelarutan yang tinggi sehingga larut dalam air dingin, dapat membentuk larutan yang jernih dan dapat membentuk gel pada pemanasan dengan suhu sekitar 48°C -64°C, tergantung pada kelasnya. Fenomena pembentukan gel adalah tahap dalam proses flokulasi, dimana molekul metilselulosa kehilangan air atau hidrasi, menyebabkan molekul berikatan lebih erat. Saat larutan mendingin, metilselulosa kembali larut dan akan mengental lagi. Metilselulosa stabil pada kisaran pH 3-11.



Gambar 91. Metilselulosa.

Bergantung pada konsentrasinya, larutan metilselulosa yang dipanaskan dapat menahan gel atau dapat sepenuhnya tidak larut dan mengendap. Untuk larutan dengan konsentrasi metilselulosa 2% ber-viskositas tinggi dalam air (~6.000-8.000 cP), bila dipanaskan akan menahan gel yang utuh, tetapi akan menunjukkan beberapa derajat sineresis.

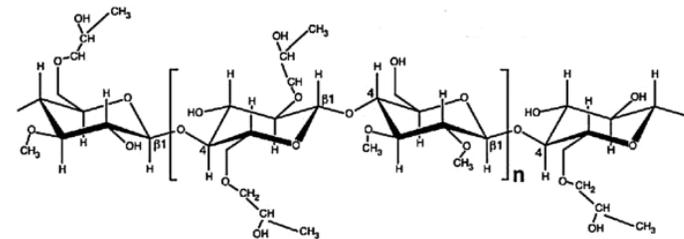
Sifat non-ionik dan tingkat kelarutan yang tinggi, *edible coating* yang dihasilkan dari metilselulosa membentuk struktur yang kuat dan bening, karena strukturnya yang linier. *Film* berbasis metilselulosa akan meregang ketika ditarik, yang juga berlaku untuk *coating* turunan selulosa lainnya, seperti HPMC dan non-food grade *ethylhydroxyethylcellulose* (EHEC). Diantara semua senyawa turunan dari selulosa, MC memiliki sifat pembuatan *coating / film* yang kelarutan tinggi dan merupakan *barrier* oksigen dan lipid yang efisien.

### 2.3.2.3 Hidroksipropil Metilselulosa (HPMC)

Hidroksipropil metilselulosa (HPMC) juga termasuk dalam kelompok senyawa yang dikenal sebagai eter selulosa. HPMC diproduksi dengan mereaksikan terlebih dahulu selulosa murni dengan pereaksi alkilasi (metil klorida) dengan adanya basa yang biasanya natrium hidroksida dan pengencer inert untuk membentuk metilselulosa. Adanya penambahan basa dan dikombinasikan dengan air dapat mengaktifkan matriks selulosa dengan mengganggu struktur kristalnya dan meningkatkan akses gugus polimer hidroksil ke zat alkilasi untuk mendorong reaksi esterifikasi. Matriks yang diaktifkan ini disebut alkali selulosa. Setelah diaktifkan, metilselulosa kemudian direaksikan lebih lanjut dengan penambahan bertahap dari alkilena oksida, yang dalam kasus HPMC, adalah propilena oksida.

HPMC pada dasarnya sama dengan MC dalam hal struktur, selain adanya substitusi metil. Beberapa kelompok hidroksil glukosa yang

tersisa digantikan dengan gugus hidroksipropil, yang selanjutnya membuka molekul selulosa. HPMC larut dalam air dingin seperti MC, tetapi suhu flokulasi HPMC lebih tinggi yaitu kurang lebih 82°C. Berbeda dengan MC, larutan HPMC 2% dalam air ketika dipanaskan hingga 82°C atau lebih tinggi akan menghasilkan ketidakseimbangan gum yang terhidrasi sehingga akan tidak larut. HPMC larut kembali ketika suhu air mendingin ke suhu kamar atau lebih rendah seperti MC.

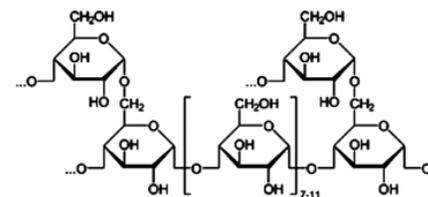


Gambar 92. Struktur Hidroksipropil Metilselulosa.

(Sumber: Nieto, 2009)

### 2.3.3 Glikogen

Glikogen merupakan “pati hewani” karena glikogen adalah bahan makanan cadangan bagi hewan yang biasanya disimpan dalam hati dan otot yang sewaktu-waktu dapat diubah menjadi glukosa. Glikogen memiliki sifat larut dalam air dan bila bereaksi dengan iodin akan menghasilkan warna merah. **Glikogen berwarna putih, amorf, tidak berasa, apabila dihidrolisa akan menghasilkan dekstrin, maltosa, dan glukosa.**



Gambar 93. Struktur Glikogen.

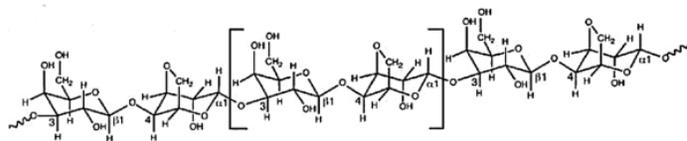
(Sumber: edubio.info)

Struktur glikogen hampir sama dengan amilopektin, dimana glikogen adalah polimer dari  $\alpha$ -D-glukopiranososa yang mempunyai banyak cabang yaitu sekitar 20-30 cabang yang pendek dan rapat. Setiap cabang dari pengulangan cabang mengandung 12-18 glukosa yang berikatan  $\alpha$ -(1-4) dengan titik cabang ikatan  $\alpha$ -(1-6). Glikogen mempunyai berat molekul sekitar 5 juta dan merupakan molekul terbesar di alam yang larut dalam air.

Pada saat hewan disembelih, terjadi proses *rigor mortis* dan kemudian glikogen dipecah menjadi asam laktat selama *post mortem*. Oleh enzim atau asam, glikogen dipecah menjadi glukosa. Enzim yang memecah glikogen merupakan fosforilase yang memecah ikatan 1-4 antara residu residu glukosa dan bila sampai pada ikatan 1-6 kerja enzim akan terhenti.

### 2.3.4 Agar

Agar didapatkan dari hasil ekstraksi dua rumput laut merah umum yaitu *Gelidium sp.* dan *Gracilaria sp.*, campuran agarosa (fraksi pembuat gel) dan agaropektin (fraksi yang tidak membentuk gel), dimana sedikit bercabang dan mengandung sedikit ester sulfat. Agarosa merupakan polimer linear dengan berat molekul sekitar 120.000 dan terdiri dari dimer D-galaktosil dan 3,6-L-galaktosil-anhidrat yang berulang dimana dimer tersebut terhubung melalui rantai  $\alpha$ -(1-3) dan  $\beta$ -(1-4) glikosidik.



Gambar 94. Struktur Fraksi Agarosa.  
(Sumber : Nieto, 2009)

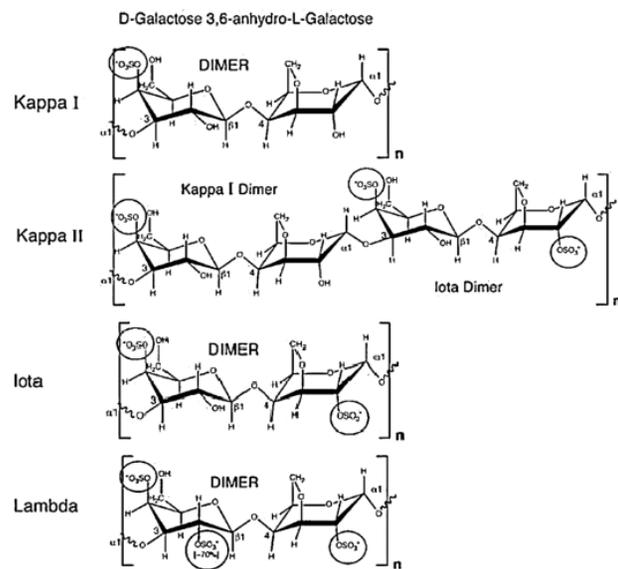
Agar tidak larut dalam air dingin dan alkohol. Agar apabila dipanaskan akan membentuk larutan yang *viscous*, bila didinginkan

akan membentuk gel. Agar sering digunakan karena kemampuan pembentukan gelynya dan lebih stabil dalam kondisi pH rendah dan suhu yang tinggi dibandingkan bahan pembuat gel lainnya. Proses gelasi terjadi karena adanya pembentukan jaringan agarosa *double helix* yang membentuk zona persimpangan. *Double helix* ini distabilkan dengan adanya molekul air yang terikat di dalam rongga *double helix*. Gugus hidroksil eksterior memungkinkan agregasi *double helix* ini melalui ikatan hidrogen antar molekul, setelah pendinginan larutan agar. Larutan gel agar terbentuk pada kisaran suhu 90-103°C. Agar digunakan sebagai reagen pengental dalam pengolahan daging dan pengolahan susu.

### 2.3.5 Karagenan

Karagenan merupakan getah rumput laut yang diekstrak menggunakan air atau larutan alkali dari jenis tertentu dari kelas *Rhodophyceae* (alga merah). Alga merah yang sering diekstrak untuk menghasilkan karagenan antara lain *Eucheuma spinosum*, *Eucheuma cottonii*, *Chondrus crispus*, *Gigartina skottsbergi*, dan *Iradaea laminarioides*.

Menurut susunan dan struktur kimianya, karagenan terdiri dari 4 macam fraksi yaitu Kappa I, Kappa II, Iota dan Lambda. Rumput laut yang berbeda menghasilkan karagenan yang berbeda dengan satu jenis karagenan yang lebih dominan. Kappa-karagenan murni dan Iota-karagenan didapatkan setelah dilakukan proses presipitasi dengan kalium klorida, dimana fraksi Kappa dan Iota tidak larut dalam air dan Lambda dihilangkan dalam fase larut.



Gambar 95. Struktur Kappa (I dan II), Iota dan Lambda Karagenan.  
(Sumber: Nieto, 2009)

Karagenan merupakan polimer linier dengan struktur teratur tetapi tidak tepat, tergantung pada sumber dan kondisi ekstraksi. Karagenan terdiri dari dimer unit galaktopiranosil yang dihubungkan oleh ikatan glukosidik  $\beta$ -(1-4) dan  $\alpha$ -(1-3). Pada unit gula terdapat sulfat baik pada C-2, C-3 atau C-6 dari galaktosa atau C-2 dari galaktosa anhidrat. Strukturnya serupa dengan agar, kecuali dengan adanya 3,6-d-galaktosa-anhidrat daripada 3,6-l-galaktosa anhidrat yang terdapat pada agar dan adanya gugus sulfat dalam karagenan.

Perbedaan antara keempat jenis fraksi karagenan yaitu dari kandungan sulfatnya. Kappa I merupakan fraksi yang paling sedikit kandungan sulfatnya dengan 25% kandungan ester sulfat, sedangkan lambda merupakan fraksi yang paling banyak dengan 35%. Perbedaan

kandungan sulfat ini menyebabkan perbedaan dalam tingkat muatan negatif dan kelarutan dalam air. Lambda-karagenan larut dan dapat diekstrak menggunakan air dingin sedangkan kappa-karagenan hanya larut sebagian dalam air dingin dan membutuhkan pemanasan hingga  $82^{\circ}\text{C}$  untuk dapat larut dan terekstraksi. Iota-karagenan memiliki tingkat kelarutan yang berada di antara lambda-karagenan dan kappa-karagenan.

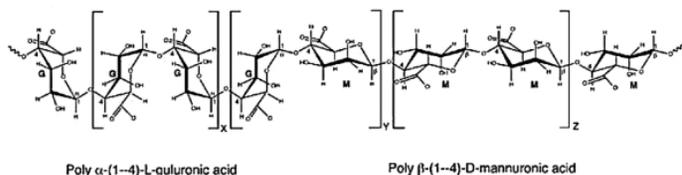
Karagenan berbentuk tepung, berfungsi sebagai stabilisator, pengemulsi dan dapat membuat gel dengan baik, sehingga banyak digunakan sebagai bahan pembuat gel dan pengental. Karagenan murni menghasilkan larutan yang bening. Kappa-karagenan yang memiliki sedikit muatan negatif membutuhkan pemanasan dengan suhu  $80^{\circ}\text{C}$ - $82^{\circ}\text{C}$  untuk membuat gel sedangkan lambda-karagenan yang memiliki banyak muatan negatif tidak membutuhkan pemanasan untuk membentuk gel. Dalam industri, susu coklat digunakan untuk mengurangi cocoa untuk meningkatkan sup dan saus dan ditambahkan dalam pie sebagai reagen pengental.

### 2.3.6 Alginat

Alginat merupakan polisakarida yang diisolasi dari rumput laut coklat (*Phaeophyceae*). Alginat banyak digunakan dalam industri pangan sebagai pembentuk tekstur dan bahan pembentuk gel. Alginat dalam rumput laut berbentuk sebagai garam natrium, kalsium, magnesium, strontium dan barium dalam bentuk gel. Alginat dapat diekstraksi dengan menerapkan perlakuan asam untuk mengubah alginat menjadi asam alginat, diikuti dengan perlakuan alkali ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  atau  $\text{NaOH}$ ) untuk menghasilkan natrium alginat yang larut dalam air.

Alginat merupakan polimer linier yang tidak bercabang, mengandung asam  $\beta$ -(1-4)-D-mannuronat (M) dan asam  $\alpha$ -(1-4)-L-guluronat (G), oleh karena itu merupakan polimer yang sangat anionik. Alginat bukan kopolimer acak, melainkan kopolimer blok. Alginat terdiri dari

2 blok unit gula yang sama dan bergantian (MMMMM, GGGGG dan MGMGMGM) dengan masing-masing blok memiliki struktur konformasi yang berbeda.



Gambar 96. Struktur Alginat.  
(Sumber : Nieto, 2009)

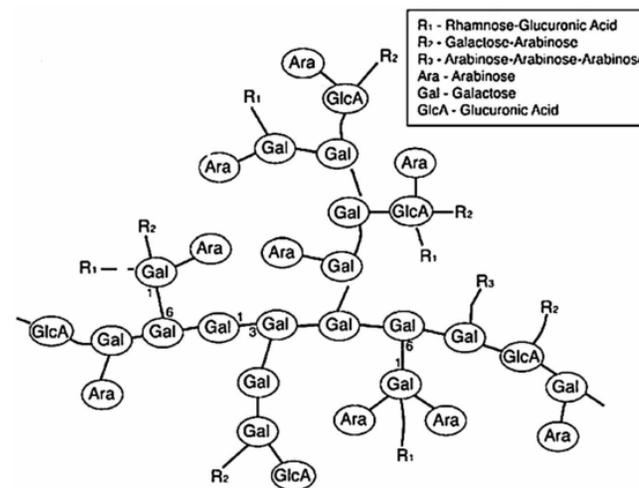
Alginat memiliki sifat koloid yang unik dan dapat membentuk gel yang kuat atau polimer yang tidak larut melalui *crossed linking* dengan  $Ca^{2+}$  setelah melalui perlakuan oleh larutan  $CaCl_2$ . *Coating* berbasis alginat dapat menjaga kualitas produk pangan dengan baik dan memperpanjang umur simpan dengan meningkatkan penghalang air sehingga dapat mencegah kontaminasi mikroba, menjaga rasa dan tekstur buah-buahan segar. *Coating* dari alginat dapat mencegah oksidasi lipid dan menghentikan ketengikan sehingga dapat mengurangi persepsi rasa hangat yang disebabkan oleh adanya oksidasi lipid. *Coating* berbasis alginat digunakan pada daging burger untuk mengurangi *flavor* tengik, memperbaiki sifat sensorik dan kualitas yang lebih baik dibandingkan daging burger yang tidak dilapisi *coating*.

### 2.3.7 Gum

Gum adalah polisakarida yang mengandung heksosa dan pentosa bersama-sama asam uronat misalnya gum arab yang dihasilkan dari kulit kayu pohon akasia. Secara komersial digunakan dalam industri lem dan *foam stabilizer* pada pembuatan bir.

#### 2.3.7.1 Gum Arab

Gum arab adalah eksudat dari batang dan cabang pohon sub-Sahara Acacia senegal dan Acacia seyal yang secara alami mengeluarkan getah atau dilubangi untuk membentuk nodul getah besar untuk menutup luka di kulit pohon. Gum arab terdiri dari campuran kompleks dan variabel dari oligosakarida arabinogalaktan, polisakarida dan glikoprotein. Tergantung pada sumbernya, komponen-komponen glikan mengandung proporsi L-arabinose yang relatif lebih besar daripada D-galaktosa (A. seyal) atau D-galaktosa daripada L-arabinosa (A. senegal). Gum yang diekstraksi dari A. seyal secara signifikan mengandung lebih banyak asam 4-O-metil-D-glukuronat, tetapi lebih sedikit L-ramnosa dan asam D-glukuronat yang tersubstitusi dibandingkan dengan gum yang berasal dari A. senegal.



Gambar 97. Struktur Gum Arab.  
(Sumber: Nieto, 2009)

Gum arab bersifat heterogen, tetapi umumnya terdiri dari dua fraksi primer. Fraksi pertama, sekitar 70% gum yang terdiri dari rantai polisakarida dengan sedikit atau tanpa protein. Fraksi lainnya mengandung molekul dengan berat molekul lebih tinggi yang memiliki protein sebagai bagian integral dari strukturnya. Fraksi protein-polisakarida tersebut heterogen sehubungan dengan kandungan protein. Struktur polisakarida secara kovalen melekat pada komponen protein melalui hubungan dengan hidroksiprolin dan mungkin, unit serin, dua asam amino utama dalam polipeptida. Kandungan protein keseluruhan sekitar 2% berat, tetapi fraksi dapat mengandung sebanyak 25% berat protein.

Gum arab merupakan polimer yang sangat bercabang dengan rantai utama yaitu (1-3) yang terhubung dengan  $\beta$ -D-galaktopiranosil dan rantai samping unit (1-3)- $\beta$ -D-galaktopiranosil yang bergabung melalui rantai (1-6) dan dengan berat molekul  $\sim$ 250.000 serta panjang rantai samping 2-5 unit. Baik rantai utama dan rantai samping tersambung dengan unit  $\alpha$ -L-arabinofuranosil,  $\alpha$ -L-ramnopiranosil,  $\beta$ -D-glukuronopiranosil dan 4-O-metil- $\beta$ -D-glukuronopiranosil.

Gum arab mudah larut saat diaduk di dalam air, oleh karena itu gum arab memiliki sifat unik di antara gum lainnya, kecuali gum yang telah didepolimerisasi untuk menghasilkan jenis viskositas rendah, karena kelarutannya yang tinggi dan viskositas rendah dari larutannya. Larutan gum arab dapat terbentuk hingga konsentrasi 50%, di atas konsentrasi 50%, dispersi agak seperti gel.

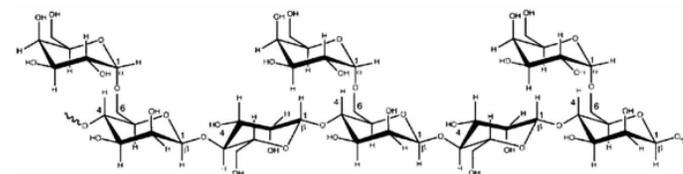
Gum arab adalah zat pengemulsi dan penstabil emulsi yang sangat baik untuk emulsi minyak dalam air. Gum arab digunakan untuk emulsifikasi minyak jeruk, minyak esensial lainnya, dan flavor buatan yang digunakan sebagai konsentrat untuk minuman ringan dan emulsi pada produk *bakery*.

Gum arab memiliki aktivitas permukaan dan membentuk lapisan makromolekul yang tebal dan stabil secara sterikal di sekitar tetesan minyak. Emulsi yang dibuat dengan flavor minyak dan gum arab dapat

menghasilkan bubuk flavor kering yang non higroskopis menggunakan alat *spray drier*. Dengan proses ini flavor minyak terlindungi dari oksidasi dan volatilisasi. Serbuk flavor ini digunakan dalam produk seperti serbuk minuman instan, kue, makanan penutup, puding, dan campuran sup.

### 2.3.7.2 Guar Gum

*Guar gum* merupakan endosperma tanah dari biji kacang guar dari semak polong *Cyamopsis tetragonoloba*. Secara kimia *guar gum* merupakan polisakarida yang terdiri dari galaktosa dan manosa. Sekitar 85% dari *guar gum* merupakan guaran, yaitu suatu polisakarida yang larut dalam air yang terdiri dari dari rantai manosa linier yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik  $\beta$ -(1-4) dengan substitusi galaktosa pada posisi C-6 dari sekitar setiap unit manosa lainnya. Perbandingan manosa dan galaktosa yaitu 2:1. *Guar gum* merupakan emulsifier yang lebih baik karena memiliki lebih banyak titik cabang galaktosa.



Gambar 98. Struktur *Guar Gum*.

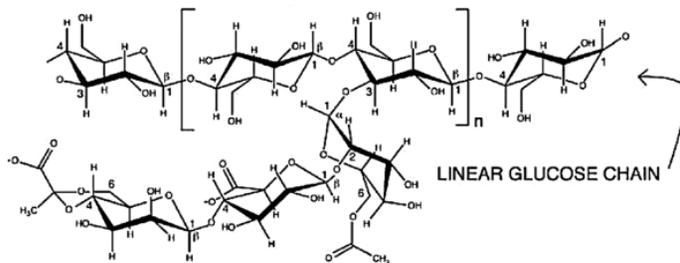
(Sumber : Nieto, 2009)

*Guar gum* memiliki rantai yang lebih tersubstitusi dengan galaktosa, sehingga gum ini lebih mudah larut di dalam air dibandingkan gum biji jenis lainnya. Gum ini juga dapat dilarutkan dalam air dingin dan memberikan kekentalan yang tinggi dalam konsentrasi rendah. *Guar gum* adalah bahan pengental yang murah dan juga merupakan bahan penstabil. Umumnya *guar gum* digunakan bersama pengental dan penstabil lainnya. Seperti contoh pada eskrim sering digunakan *guar gum* bersama dengan CMC atau *guar gum* bersama dengan karagenan.

### 2.3.7.3 Xanthan Gum

Xanthan gum adalah polisakarida yang diproduksi oleh bakteri *Xanthomonas campestris* melalui proses fermentasi yang melibatkan substrat karbohidrat dan nutrisi pendukung pertumbuhan lainnya. Xanthan gum sebenarnya merupakan hasil ekskresi untuk melindungi sel-sel bakteri ketika pH dari media fermentasi turun menjadi terlalu rendah dan tidak menguntungkan untuk pertumbuhan. Karena sifat ini, *xanthan gum* memiliki stabilitas yang lebih baik Alginat memiliki sifat koloid yang unik dan dapat membentuk gel yang kuat atau polimer yang tidak larut melalui *crossed linking* dengan  $Ca^{2+}$  setelah melalui perlakuan oleh larutan  $CaCl_2$ . *Coating* berbasis alginat dapat menjaga kualitas produk pangan dengan baik dan memperpanjang umur simpan dengan meningkatkan penghalang air sehingga dapat mencegah kontaminasi mikroba, menjaga rasa dan tekstur buah-buahan segar. *Coating* dari alginat dapat mencegah oksidasi lipid dan menghentikan ketengikan, sehingga dapat mengurangi persepsi rasa hangat yang disebabkan oleh adanya oksidasi lipid. *Coating* berbasis alginat digunakan pada daging burger untuk mengurangi *flavor* tengik, memperbaiki sifat sensorik dan kualitas yang lebih baik dibandingkan daging burger yang tidak dilapisi *coating*.

Pg]; terhadap asam dibandingkan gum-gum lainnya.



Gambar 99. Struktur *Xanthan Gum*.

(Sumber: Nieto, 2009)

*Xanthan gum* adalah polimer anionik dengan struktur molekul yang terdiri dari rantai glukosa linier yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik β-(1-4). Selain itu terdapat rantai samping trisakarida yang dihubungkan oleh O-3 unit glukosa alternatif dari rantai utama. Rantai samping trisakarida terdiri dari unit manosa bagian dalam yang sebagiannya diasetilasi pada posisi C-6, unit asam glukuronat dan unit terminal manosa yang tersubstitusi sebagian dengan asam piruvat dalam bentuk 4,6-asetal-siklik. Kelompok asam glukuronat dan piruvat memberikan muatan negatif ke molekul *xanthan gum*. Oleh karena itu, unit berulang pada *xanthan gum* merupakan pentamer. Setiap molekul terdiri dari sekitar 7.000 pentamers.

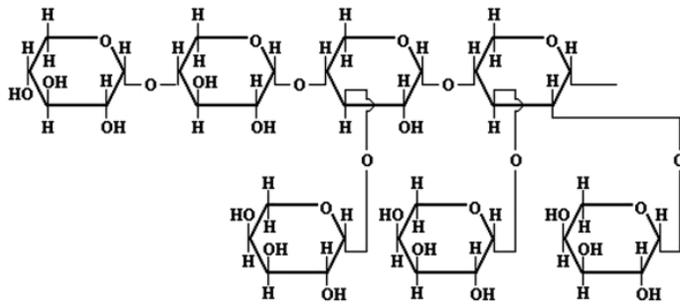
Di alam, bakteri ini ditemukan pada daun sayuran Brassica seperti kol atau kubis. Secara komersil, *xanthan gum* diproduksi dari kultur murni bakteri secara aerobik melalui proses fermentasi. *Xanthan gum* memiliki beberapa sifat yaitu stabil pada berbagai kondisi pH dari 1 hingga 13, sangat tahan terhadap hidrolisis enzim, toleran terhadap garam tinggi, gula tinggi dan alkohol tinggi, stabil pada suhu mendidih dan dapat mentolerir pemrosesan retort lebih baik daripada kebanyakan gum lainnya.

*Xanthan gum* larut dalam air dingin dan seperti kebanyakan senyawa pengental, *xanthan gum* membentuk gumpalan jika dicampur dalam air dengan pengadukan yang kurang. *Xanthan gum* membentuk larutan yang cukup kental dengan air dan pada konsentrasi 1% memberikan viskositas antara 1.200 dan 1.600 cP. *Xanthan gum* mempunyai sifat yaitu sangat *pseudoplastik* dan menunjukkan penurunan viskositas yang drastis dengan meningkatnya laju pengadukan. Larutan *xanthan gum* memiliki konsistensi lembut seperti gel, tergantung pada konsentrasi dan pengadukan yang diterapkan yang merupakan sifat khas dari cairan *pseudoplastik*. Kemampuan mengikat air yang konsisten pada *xanthan gum* dapat digunakan untuk mengontrol sinergi dan menghambat rekristalisasi es dalam situasi beku-cair. *Xanthan gum*

menunjukkan stabilitas pembekuan yang unggul. Viskositasnya relatif tidak terpengaruh oleh kekuatan ionik, kondisi pH (1-13), pengadukan serta suhu.

### 2.3.8 Hemiselulosa

Istilah hemiselulosa mengacu pada zat yang menempati ruang antara selulosa fibril di dalam dinding sel tanaman. Dari hasil hidrolisis hemiselulosa, diperkirakan unit monomer yang membentuknya tidak sejenis (heteromer). Hemiselulosa merupakan gabungan dari D-xilosa, arabinosa, glukosa, manosa, dan galaktosa. Hemiselulosa merupakan penyusun jaringan dinding sel bersama-sama dengan lignin dan selulosa.

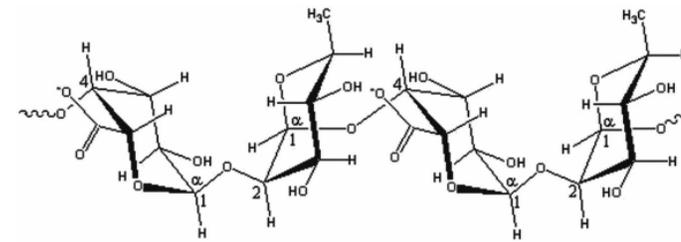


Gambar 100. Struktur Potongan Hemiselulosa pada Tepung Gandum.  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Hemiselulosa mempunyai derajat polimerisasi (DP) rendah dan mudah larut dalam alkali tetapi sukar larut dalam asam. Hemiselulosa tidak berbentuk serat-serat panjang seperti selulosa, selain itu juga suhu bakarnya tidak setinggi selulosa.

### 2.3.9 Pektin

Pektin merupakan asam pektinat yang larut dalam air dengan berbagai jumlah kandungan gugus metil ester. Pektin ditemukan secara luas pada dinding sel tanaman. Pektin umumnya diproduksi secara komersial dari kulit buah jeruk yang mengandung 20%-40% pektin dan dari buah apel yang mengandung 10%-20% pektin. Pektin dari kulit lemon dan kulit jeruk nipis umumnya paling mudah untuk diisolasi dan memiliki kualitas terbaik.



Gambar 101. Struktur Pektin.  
(Sumber: [www.isbu.ac.uk](http://www.isbu.ac.uk))

Pektin merupakan polimer yang tersusun oleh 150-500 unit asam (1-4)- $\alpha$ -D-galakturonat yang dihubungkan dengan ikatan  $\beta$ -(1-4)-glukosida dengan berat molekul 30.000-100.000. Rantai utamanya mengandung residu L-ramnosa dan rantai cabang tersusun sebagian besar oleh  $\beta$ -D-galaktopiranosida dan  $\alpha$ -L-arabinofuranosida. Umumnya, pektin tidak memiliki struktur yang pasti. Pektin mungkin mengandung hingga 17 monosakarida yang berbeda dan lebih dari 20 jenis ikatan yang berbeda. Pektin memiliki kemampuan unik untuk membentuk garam yang disebut dengan garam pektinat (dengan ion kalsium). Dalam bentuk garam ini pektin dapat membentuk gel yang dapat menyebar dengan adanya gula dan asam.

Pada umumnya senyawa-senyawa pektin dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok senyawa yaitu asam pektat, asam pektinat (pektin) dan protopektin. Komposisi kandungan protopektin, pektin

3 dan asam pektat di dalam buah sangat bervariasi dan tergantung pada derajat kematangan buah.

1. Asam pektat

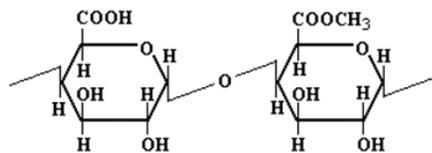
Asam pektat terdiri dari koloid asam poligalakturonat yang bebas metil ester. Asam pektat dapat membentuk garam seperti halnya asam-asam lain dan terdapat dalam jaringan tanaman ssebagai kalsium atau magnesium pektat.

2. Asam pektinat

Asam pektinat yang disebut juga dengan pektin adalah koloid dari asam poligalakturonat yang dalam molekulnya terdapat banyak metil ester pada beberapa gugusan karboksil sepanjang rantai polimer dari galakturonat. Apabila pektinat mengandung metil ester lebih dari 50% dari seluruh karboksil maka disebut dengan pektin.

3. Protopektin

Protopektin merupakan istilah untuk senyawa-senyawa pektin yang tidak larut dan banyak terdapat pada jaringan tanaman yang muda dan belum matang (induk senyawa pektin). Bila jaringan-jaringan tanaman ini dipanaskan di dalam air yang juga mengandung asam, maka protopektin dapat terhidrolisis dan diubah menjadi pektin yang dapat terdispersi dalam air. oleh karena itu, jaringan-jaringan dalam sayuran dan buah-buahan menjadi lunak dan empuk bila dimasak dalam air panas.



$\alpha$ -asam galakturonat metil  $\alpha$ -galakturonat

Gambar 102. Struktur Potongan Pektin.

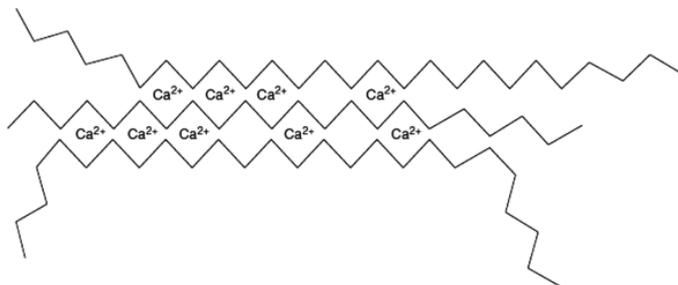
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Pektin akan membentuk gel bila Derajat Esterifikasi (DE) lebih dari 50% dan untuk pembentukan gel yang baik metil ester harus sebesar 8% dari berat pektin. Semakin banyak metil ester maka semakin tinggi suhu pembentukan gel. Misalnya pada pembentukan selai digunakan pektin dengan DE 74%. Jenis pektin yang termasuk *rapid set* adalah pektin dengan suhu pembentukan gel 88°C, sedangkan *slow set* adalah pektin yang membentuk gel pada suhu 54°C dan memiliki DE 60%.

Berdasarkan DE-nya, pektin komersial dibedakan menjadi *low methoxy pectin* (LMP) dan *high methoxy pectin* (HMP) dengan batas nilai DE 50%. LMP yang tidak teresterifikasi kurang dari 40%, sedangkan LMP teresterifikasi lebih dari 43% dan biasanya sekitar 67%. HMP membutuhkan sejumlah padatan terlarut (55%-80%) dan kisaran pH 2,8-3,7 untuk membentuk gel, dimana pH yang terlalu rendah akan menimbulkan sineresis yaitu air dalam gel akan keluar pada suhu kamar. Semakin besar konsentrasi HMP, semakin keras gel yang terbentuk. Sedangkan pembentukan gel LMP tidak terlalu dipengaruhi oleh pH, namun memerlukan sejumlah tertentu ion kalsium atau ion-ion bervalensi dua dan tidak membutuhkan gula atau asam. Tekstur gel yang dihasilkan dari LMP kurang keras.

HMP akan membentuk gel bila terdapat cukup asam dan gula. Ketika pH larutan pektin diturunkan, gugus karboksilat yang sangat terhidrasi diubah menjadi gugus asam karboksilat yang tidak terhidrasi penuh. Sebagai hasil dari kehilangan sebagian muatan dan hidrasinya, molekul-molekul polimer dapat mengasosiasikan sebagian dari panjangnya untuk membentuk persilangan dan jaringan rantai polimer yang menjebak larutan dari molekul terlarut. Pembentukan zona persilangan dibantu oleh adanya gula dengan konsentrasi tinggi (sekitar 55%-65%), yang akan bersaing dengan molekul pektin untuk molekul air dan mengurangi hidrasi rantai, yang memungkinkan mereka berinteraksi satu sama lain.

LMP akan membentuk gel hanya bila terdapat kation divalen (hanya ion kalsium yang digunakan dalam bidang pangan). Meningkatkan konsentrasi kation divalen akan meningkatkan suhu pembentukan gel dan kekuatan gel. Ion divalen dapat bereaksi dengan gugus-gugus karboksil dari 2 molekul asam pektat dan membentuk jembatan. Pembentukan gel LMP dapat dijelaskan dengan model *egg-box*, yaitu suatu bentuk yang melibatkan zona persilangan antara molekul galakturonat yang dengan teratur membentuk rangkaian monomer galakturonat secara paralel. Bentuk tersebut terjadi karena adanya ikatan rantai yang berdekatan secara intermolekul melalui adanya gaya elektrostatik dan ikatan ionik dari gugus karboksil.



Gambar 103. Model *egg-box*.  
(Sumber : BeMiller dan Huber, 2007)

Pembentukan gel LMP dipengaruhi oleh faktor intrinsik dan ekstrinsik. Faktor intrinsik tersebut adalah jumlah dan urutan gugus karboksil, pola distribusi karboksil bebas, keberadaan dan distribusi ramnosa, gugusan asetil dan amida serta berat molekul pektin. Sedangkan faktor ekstrinsik yang mempengaruhi pembentukan gel adalah konsentrasi kalsium, pH, kekuatan ionik dan suhu. Karena tidak memerlukan gula untuk proses pembuatan gel, LMP sering digunakan dalam pembuatan selai, jeli, dan selai dengan gula rendah. Buah-buahan

lainnya yang digunakan dalam pembuatan jeli yaitu buah <sup>3</sup> jambu biji, apel, lemon, plum, jeruk serta anggur.

### 2.3.10 Polisakarida Majemuk

<sup>1</sup> Polisakarida majemuk <sup>1</sup> disusun oleh sakarida dan protein atau sakarida dan lipida, misalnya <sup>1</sup> glikoprotein dan asam mukopolisakarida

#### 2. Glikoprotein

Glikoprotein <sup>1</sup> disusun oleh protein sederhana dan bagian karbohidrat yang berikatan secara kovalen. Gula terikat pada atom nitrogen amida di rantai samping asparagin (disebut ikatan-N) atau ke atom oksigen di rantai samping serin atau treonin (disebut ikatan-O). <sup>1</sup> Glikoprotein banyak terdapat dalam kacang kedelai, gamma globulin, ovalbumin telur, hormon, dan <sup>1</sup> ribonuklease.

#### 2. Asam mukopolisakarida

Asam mukopolisakarida <sup>1</sup> misalnya kondroitin sulfat, asam hialuronat dan heparin adalah mukopolisakarida yang berikatan secara kovalen dengan protein yang <sup>1</sup> terdapat pada jaringan pengikat.

Tabel 16  
Polisakarida yang Umum Digunakan.

Polisakarida	Sumber	Bentuk Struktur	Kelompok non Karbohidrat	Kelarutan dalam Air	Karakteristik Umum	Penggunaan dalam Produk Pangan
Alginat	Alga coklat	Linear	-	Larut dalam sodium alginat Tidak larut (asam alginat)	Membentuk gel dengan $Ca^{2+}$ , kental, tidak terlarut pseudoplastic	Pembentuk gel yang tidak meleleh di mulut (gel <i>dessert</i> , buah analog), daging analog Asam alginat membentuk gel lunak, <i>thixotropic</i> , tidak meleleh (isian produk <i>bakery</i> jenis jelly, sereal yang mengandung buah) Penstabil emulsi dalam krim <i>dressing salad</i> Pengental dalam <i>dressing salad</i> rendah kalori
Karboximetil Selulosa (CMC)	Derivat dari selulosa	Linear	Ester karboksimetil	Larut Tinggi	Permukaannya aktif, larutannya stabil terhadap asam dan $Ca^{2+}$ Larutan yang jernih dan stabil yang dapat berupa pseudoplastik atau thixotropic	Memperlambat pertumbuhan kristal es dalam es krim dan produk <i>frozen dessert</i> lainnya Pengental, koloid pelindung, memperbaiki <i>mouthfeel</i> dan tekstur dalam berbagai saus <i>dressing</i> , dan selai Pelumas, membentuk <i>film</i> , dan membantu proses pembuatan produk yang diekstrusi Pengental adonan dan humektan dalam kue dan campuran lainnya Pegkat air dan penghambat kristalisasi dalam lapisan es, pembekuan, <i>topping</i> , isi, dan pudding Pengental sirup Pengental dalam bubuk kering, campuran minuman panas dan dingin

Metil selulosa (MC)				Larut dalam air dingin, tidak larut dalam air panas	Membentuk larutan jernih yang dapat membentuk gel termal Permukaannya aktif	Memberikan karakteristik seperti lemak Mengurangi penyerapan lemak pada produk yang digoreng Retensi gas selama proses pemanggangan Retensi kelembaban dan mengontrol distribusi kelembaban pada produk <i>bakery</i> (meningkatkan umur simpan dan memberikan kelembutan)
Hidroksi propil metil selulosa (HPMC)						Pada <i>topping whipped non</i> susu dapat menstabilkan busa, meningkatkan karakteristik <i>whipping</i> , mencegah pemisahan fase dan memberikan stabilitas <i>freeze-thaw</i>
Karagenan	Alga merah	Linear	Sulfat setengah ester			Stabilizer sekunder dalam es krim dan produk semacamnya Membantu proses pembuatan susu evaporasi, susu formula bayi, <i>dessert</i> susu, dan susu coklat <i>Edible coating</i> pada daging Meningkatkan adhesi dan meningkatkan kapasitas <i>water binding</i> dari produk emulsi daging Memperbaiki tekstur dan kualitas produk daging rendah lemak

Kappa-karagenan				Garam Na <sup>+</sup> larut dalam air dingin, garam K <sup>+</sup> dan Ca <sup>2+</sup> tidak larut	Membentuk gel kaku, rapuh, termoreversibel dengan K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup>
				Semua garam larut pada suhu > 65 ° C Larut dalam susu panas, tidak larut dalam susu dingin	Membentuk gel pada susu pada konsentrasi rendah; Membentuk gel dengan konsentrasi rendah;
Lambara-karagenan				Garam Na <sup>+</sup> larut dalam air dingin, garam K <sup>+</sup> dan Ca <sup>2+</sup> tidak larut	Membentuk gel lembut, elastis, termoreversibel dengan Ca <sup>2+</sup> > K <sup>+</sup>
				Semua garam larut pada suhu > 55 ° C Larut dalam susu panas, tidak larut dalam susu dingin	Gel tidak bersinergi dan memiliki stabilitas <i>freeze-thaw</i> yang baik

Iota-karagenan				Semua garam larut dalam air serta dalam susu panas dan dingin	Mengentalkan susu dingin
				Tinggi	Stabil, kusak, sangat kental, larutan pseudoplastik yang sedang
Guar gum	Biji guar	Linear dengan unit cabang tunggal			Pengental yang ekonomis
Gum arab				Sangat tinggi	Pengemulsi dan penstabil emulsi
	Pohon akasia	Bercabang pada cabang, sangat bercabang			Cocok dengan gula konsentrasi tinggi
					Viskositas sangat rendah pada konsentrasi tinggi
					Membantu proses pembuatan serbuk flavor

Xanthan gum	Media fermentasi	Linear dengan unit trisakarida, berbagai cabang di setiap unit rantai utama	Kelompok metil ester Dapat mengandung kelompok amida	Larut	Tinggi	Sangat pseudo-plastik, larutan dengan viskositas tinggi Pengemulsi dan penstabil suspensi yang sangat baik Viskositas larutan tidak terpengaruh oleh suhu Kompatibilitas garam yang sangat baik	Menstabilkan dispersi, suspensi dan emulsi Sebagai zat pengental
Pektin	Kulit jeruk dan apel	Linear				Membentuk gel tipe jeli dan selai dengan adanya gula dan asam atau dengan $Ca^{2+}$	HMP : jeli dengan kadar gula tinggi, selai, dan marmalade serta minuman susut asam LMP : jeli dietetik, selai, dan marmalade

(Sumber : BeMiller dan Huber, 2007)

## 2.4 Sifat Fisik dan Kemanisan Karbohidrat

### 2.4.1 Higroskopisitas dan Kelarutan

Penyerapan uap air dalam bentuk kristal bervariasi dan tergantung, misalnya pada struktur gula. Kelarutan gula berkurang ketika gula menyatu, seperti yang sering terjadi pada gula bubuk atau gula butiran. Di sisi lain, retensi kelembaban makanan oleh larutan gula pekat, misalnya sirup glukosa, digunakan dalam industri pembuatan roti.

Kelarutan monosakarida dan oligosakarida dalam air sangat baik. Namun, anomer mungkin berbeda secara substansial dalam kelarutannya, seperti pada  $\alpha$ - dan  $\beta$ -laktosa. Monosakarida larut dalam etanol dalam jumlah kecil dan tidak larut dalam pelarut organik seperti eter, kloroform atau benzena.

### 2.4.2 Rotasi Optik dan Mutarotasi

Konstanta rotasi spesifik, yang ditetapkan sebagai  $[\alpha]$  pada  $20^{\circ}C$ - $25^{\circ}C$ , tercantum dalam tabel untuk beberapa monosakarida dan oligosakarida yang penting. Konstanta rotasi spesifik  $[\alpha]_{\lambda}^t$  pada panjang gelombang dan suhu yang dipilih dihitung dari sudut rotasi ( $\alpha$ ) dengan persamaan:

$$[\alpha]_{\lambda}^t = \frac{\alpha}{l.c}$$

Di mana  $l$  adalah panjang tabung polarimeter dalam desimeter (dm) dan  $c$  jumlah gram gula aktif optik dalam 100 ml larutan.

Contoh:

D-glukosa dengan notasi  $[\alpha]_D^{20} = +19^{\circ}$   
maka bentuknya adalah  $\beta$ , jadi namanya  $\beta$ -D-glukosa.

D-glukosa dengan notasi  $[\alpha]_D^{20} = +112^{\circ}$   
maka bentuknya adalah  $\alpha$ , jadi namanya  $\alpha$ -D-glukosa

$$[\alpha]_D^{20} = +112^{\circ}$$

Artinya :  $[\alpha]_D^{20} = \text{rotasi spesifik}$   
 $D$  = -OH berada pada Dextro (kanan)  
 $20$  = suhu pengamatan pada  $20^\circ\text{C}$   
 $+112^\circ$  = besarnya rotasi spesifik (rotasi positif = ke kanan)

Rotasi molekuler,  $[M]$ , cocok untuk perbandingan nilai rotasi senyawa dengan bobot molekul berbeda

$$[M]_i = M[\alpha]_i$$

Di mana  $M$  mewakili berat molekul senyawa. Karena nilai rotasi berbeda untuk anomer dan juga untuk konformasi piranosa dan furanosa, sudut rotasi untuk larutan isomer yang baru disiapkan berubah hingga keseimbangan tercapai. Misalkan satu jenis bahan mempunyai dua bentuk  $\alpha$  dan  $\beta$  apabila dibiarkan akan mengalami perubahan rotasi spesifik sampai tercapai keseimbangan. Perubahan rotasi ini disebut *mutarotasi*. Kebanyakan monosakarida dan beberapa disakarida dapat mengalami mutarotasi. Mutarotasi ini dikatalisa oleh ion-ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  dan enzim mutarotase yang diekstrak dari *Penicillium notatum*.

Tabel 17.  
 Rotasi Spesifik dari Beberapa Monosakarida dan Oligosakarida Pada Suhu  $20\text{-}25^\circ\text{C}$

Senyawa			Senyawa	
Monosakarida	L-arabinosa	+105	Kestosa	+28
	$\alpha$ -	+55,4	Laktosa	+53,6
	$\beta$ -	+190,6	$\beta$ -	+34,2
	D-fruktosa	-92	Maltosa	+130
	$\beta$ -	-133,5	$\alpha$ -	+173
	D-galaktosa	+80,2	$\beta$ -	+112
	$\alpha$ -	+150,7	Maltotriosa	+160
	$\beta$ -	+52,8	Maltotetraosa	+166
	D-glukosa	+52,7	Maltopentaosa	+178
	$\alpha$ -	+112	Maltulosa	+64
	$\beta$ -	+18,7	Manninotriosa	+167
	D - m a n - no - 2 - heptulosa	+29,4	Melezitosa	+88,2
	D-mannosa	+14,5	Melibiosa	+143
	$\alpha$ -	+29,3	$\beta$ -	+123
$\beta$ -	-17	Palatinosa	+97,2	
D-rhamnosa	-7,0	Panosa	+154	
D-ribosa	-23,7	Raffinosa	+101	
D-xylosa	+18,8	Sukrosa	+66,5	
$\alpha$ -	+93,6	$\alpha$ -Schardinger-Dekstrin	+151	
Oligosakarida	Selobiosa	+34,6	$\alpha$ -Schardinger-Dekstrin	+162
	$\beta$ -	+14,2	$\alpha$ -Schardinger-Dekstrin	+180
	Gentianosa	+33,4	Stakiosa	+146
	Gentiobiosa	+10		
	$\alpha$ -	+31		
$\beta$ -	-3			

(Sumber: Belitz et. al., 2009)

Pada bentuk cincin, atom C-1 menjadi atom C-asimetris karena dapat mengikat empat gugus yang berlainan, sehingga menghasilkan dua kemungkinan isomer optik. Hal ini dibuktikan dengan percobaan yang telah berhasil mengisolasi dua bentuk kristal D(+)-glukosa yang berbeda dengan cara pengkristalan dari pelarut yang berlainan. Salah satu bentuk kristal tersebut mempunyai sudut rotasi spesifik +112° dalam air yang dinamakan  $\alpha$ -D(+)-Glukosa, sedangkan bentuk lainnya mempunyai sudut rotasi spesifik +18,7° dalam piridina yang dinamakan  $\beta$ -D(+)-Glukosa. Masing-masing bentuk ini bila dibiarkan akan mengalami perubahan rotasi spesifik sampai terjadi kesetimbangan, dimana rotasi spesifiknya menjadi 52,7°. Bentuk  $\beta$  lebih stabil pada suhu sekitar 100°C.

### 2.4.3 Kemanisan

Beberapa monosakarida, oligosakarida dan gula alkohol memiliki rasa yang manis, sehingga sering kali digunakan sebagai bahan pemanis. Tetapi ada beberapa karbohidrat yang memiliki rasa pahit seperti  $\beta$ -D-mannosa memiliki rasa manis-pahit, dan beberapa oligosakarida seperti gentiobiose. Pemanis yang paling utama adalah sukrosa (dalam bentuk kristal), sirup pati (campuran glukosa, maltosa dan malto-oligosakarida), glukosa (dalam sirup jagung) dan dekstroza (kristal D-glukosa). Gula invert, sirup glukosa yang mengandung fruktosa (sirup jagung fruktosa tinggi), fruktosa, laktosa dan alkohol gula, seperti sorbitol, manitol dan xylitol, juga sering kali digunakan sebagai pemanis.

Masing-masing gula memiliki sifat yang berbeda dalam kualitas rasa manis dan intensitas rasa. Sukrosa menjadi standar kemanisan dibandingkan dengan gula-gula lain karena rasanya yang enak bahkan pada konsentrasi tinggi.

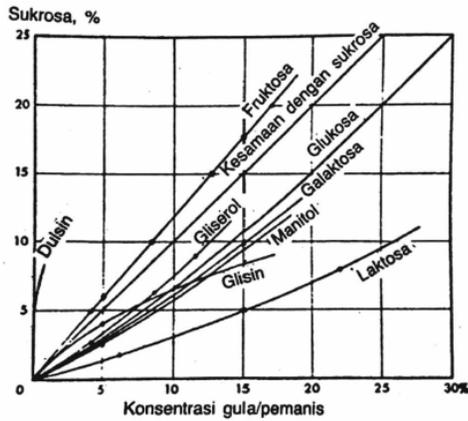
Tabel 18.

Kemanisan Relatif dari Gula dan Gula Alkohol dibandingkan dengan Sukrosa (Pada Larutan 10%).

Gula/gula alkohol	Kemanisan relatif
Sukrosa	100
Galaktitol	41
D-fruktosa	114
D-galaktosa	63
D-glukosa	69
Gula invert	95
Laktosa	39
Maltosa	46
D-mannitol	69
D-mannosa	59
Rafinosa	22
D-rhamnosa	33
D-sorbitol	51
Xylitol	102
D-xyloza	67

(Sumber : Belitz *et. al.*, 2009)

Kurva di bawah menunjukkan perbandingan kemanisan relatif berbagai heksosa, gula invert dan beberapa pemanis buatan dibandingkan dengan sukrosa. Dari kurva tersebut terlihat bahwa fruktosa dan dulsin (pemanis buatan) relatif lebih manis daripada sukrosa.



Gambar 104. Perbandingan Tingkat Kemanisan Beberapa Senyawa dibandingkan dengan Sukrosa.  
(Sumber : Winarno, 1992)

Kualitas dan intensitas rasa dari gula tidak hanya tergantung pada struktur senyawanya tetapi pada parameter penerimaan rasa lainnya, yaitu suhu, pH dan adanya senyawa manis atau non-manis tambahan. Pengaruh suhu terhadap intensitas rasa terdapat pada kasus D-fruktosa. D-fruktosa merupakan gula yang paling manis tetapi konsentrasinya menurun ketika suhu meningkat. Pada suhu 5°C, D-fruktosa kira-kira 1,4 kali lebih manis daripada sukrosa, tetapi pada suhu 40°C kira-kira sama dengan sukrosa, dan pada suhu 60°C kemanisan D-fruktosa menurun hingga 0,8 kali kemanisan sukrosa. Demikian halnya dengan D-galaktosa, D-glukosa dan L-sorbosa. Sedangkan kemanisan maltosa tidak dipengaruhi oleh perubahan-perubahan suhu.

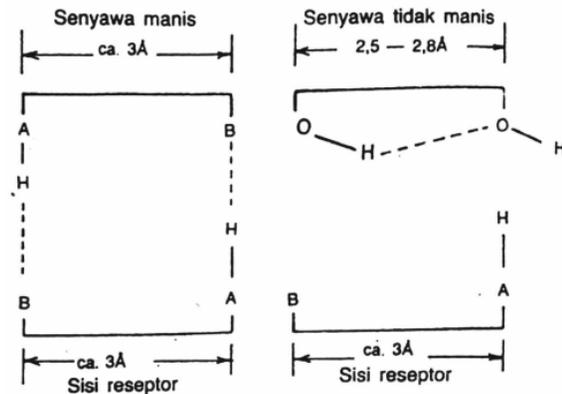
Intensitas rasa oligosakarida turun secara teratur seiring meningkatnya panjang rantai. Intensitas rasa dapat diukur dengan menentukan ambang pengenalan gula (konsentrasi terendah dimana rasa manis sudah dapat dikenali) atau perbandingan dengan zat referensi. Nilai ambang terkait dengan afinitas kemoreseptor rasa manis untuk zat manis dan sangat penting dalam penjelasan hubungan antara struktur

kimia senyawa dan rasanya.

Untuk tujuan praktis, penggunaan bahan referensi lebih penting dimana intensitas rasa tergantung pada konsentrasi dan sangat bervariasi diantara senyawa manis. Sukrosa adalah zat referensi yang biasanya dipilih. Nilai ambang pengenalan untuk sukrosa yang dikutip dalam literatur yang bervariasi berkisar antara dari 0,01 hingga 0,037 mol / l.

Mekanisme terjadinya kemanisan didasari oleh sifat-sifat ikatan hidrogen pada senyawa yang manis. Suatu senyawa yang manis dengan atom-atom elektronegatif A dan B, dengan sebuah atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada A. Kemungkinan besar akan membentuk pasangan ikatan hidrogen dengan struktur yang sama dari reseptor pada ujung saraf rasa, sehingga menghasilkan respon manis.

A-H mewakili gugusan donor proton, seperti -OH, -COOH, -NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, -NH dan CH, sedangkan B mewakili gugusan fungsional yang bertindak sebagai akseptor proton, seperti -OH, -NH<sub>2</sub>, -C=O, -NO<sub>2</sub>, -SO<sub>2</sub>, -C=C- dan -Cl. Jarak antara A-H dan B minimal harus 3Å. Bila tidak, pembentukan pasangan ikatan hidrogen ini akan terganggu.



Gambar 105. Ikatan Hidrogen Pada Senyawa Manis  
(Sumber: Winarno, 1992)

## 2.5 Reaksi Browning

Pembentukan warna coklat dalam bahan dan produk pangan selama proses pengolahan maupun penyimpanan merupakan gejala yang sangat umum. Hal ini menjadi perhatian utama karena tidak hanya merubah warna dan kenampakan, tetapi juga mempengaruhi aroma dan nilai nutrisi dari bahan dan produk pangan.

Reaksi *browning* adalah suatu reaksi kompleks yang terjadi jika bahan makanan mengalami proses pengolahan atau dikenai suatu perlakuan. Proses *browning* yang terjadi pada bahan dan produk pangan selama pengolahan dan penyimpanan tidak selalu merupakan proses yang tidak dikehendaki, kadang-kadang justru dikehendaki. Beberapa contoh proses *browning* yang dikehendaki misalnya *roasting* kopi, penggorengan kacang, pengolahan daun teh, dan lain-lain. *Browning* yang tidak dikehendaki misalnya pengeringan sayuran dan buah-buahan, pembuatan sari buah dan sebagainya. Berdasarkan proses terjadinya, *browning* dapat dikelompokkan menjadi *browning* enzimatis dan *browning* non enzimatis.

### 2.5.1 Browning Non Enzimatis

Dalam beberapa kondisi, gula pereduksi menghasilkan warna cokelat yang dikehendaki dan penting dalam beberapa produk pangan. Tetapi di sisi lain warna cokelat yang dihasilkan pada saat pemanasan atau selama penyimpanan jangka panjang dari bahan dan produk pangan yang mengandung gula pereduksi tidak diinginkan. *Browning* non enzimatis meliputi reaksi maillard dan karamelisasi.

Reaksi Maillard tidak memerlukan oksigen dari udara, tetapi harus tersedia senyawa amino untuk memulai reaksi, dan reaksi maillard lebih mudah terjadi dalam suasana alkalis. Sedangkan karamelisasi tidak memerlukan oksigen dari udara dan gugus amino, tetapi memerlukan suhu tinggi dalam waktu cukup lama dan reaksi dapat terjadi baik dalam suasana asam atau alkalis.

### 2.5.1.1 Reaksi Maillard

Roti, kopi dan steak panggang memiliki aroma yang memikat karena rangkaian reaksi kimia yang pertama kali dilaporkan lebih dari 100 tahun yang lalu oleh ahli kimia Prancis Louis-Camille Maillard. Fenomena reaksi Maillard pertama kali ditemukan pada tanah, yaitu pada sedimen pasir laut. Sedimen pasir laut kaya polimer nitrogen dan gula pereduksi yang berasal dari organisme. Menurut Maillard pada tahun 1912 terjadi suatu reaksi yang dinamakan reaksi Maillard dengan adanya polimer yang mengandung nitrogen dan gula pereduksi serta terjadi pemanasan. Louis-Camille Maillard adalah orang yang pertama mengamati pembentukan warna coklat dari reaksi antara gula pereduksi dengan asam amino. Pengamatan tersebut terjadi ketika Maillard melakukan percobaan cara sintesis protein dari campuran D-glukosa dengan asam amino sistem larutan pekat semi kering. Reaksi yang menimbulkan pencoklatan tersebut akhirnya disebut reaksi Maillard yang juga dikenal dengan nama reaksi pencoklatan non enzimatis. Penemuan Maillard pada tahun 1912 mendorong ilmuwan lain melakukan penyelidikan lanjut tentang fenomena-fenomena yang terjadi pada reaksi gula pereduksi dengan asam amino. Sekitar 40 tahun kemudian, yakni pada tahun 1950-an diketahui reaksi Maillard berkontribusi terhadap pembentukan aroma, warna, rasa dan perubahan tekstur bahan pangan terolah dengan panas dan tersimpan dalam waktu yang relatif lama. Pengertian pembentukan aroma tersebut menjadi lebih jelas setelah teknik analisis kromatografi gas-spektrometer masa (CG-MS) berkembang pada tahun 1960-an



Gambar 106. Louis-Camille Maillard Penemu Reaksi Maillard.

Pada tahun 1953, seorang ahli kimia Afrika-Amerika bernama John E. Hodge, yang bekerja di Departemen Pertanian AS di Peoria, Illinois, menerbitkan sebuah makalah yang membentuk mekanisme untuk reaksi Maillard (J. Agric. Food Chem. 1953, 1, 928). Menurut Vincenzo Fogliano, seorang ahli kimia makanan di University of Naples, Federico II, Maillard menemukan reaksi tetapi Hodge memahaminya dengan penjelasan yang lebih rinci. Bahkan, karena kutipan dari kertas Hodge jauh lebih banyak daripada yang ada di Maillard, ada beberapa pendapat untuk memberikan penamaan ulang reaksi tersebut menjadi Reaksi "Maillard-Hodge". Tetapi gagasan itu belum menarik perhatian.

Menurut model Hodge, reaksi Maillard memiliki tiga tahap, yaitu: *pertama*, gugus karbonil gula bereaksi dengan gugus amino pada protein atau asam amino untuk menghasilkan air dan glikosilamin yang tidak stabil. *Kedua*, glikosilamin mengalami penyusunan ulang Amadori untuk menghasilkan serangkaian senyawa aminoketosa. *Ketiga*, banyak molekul, termasuk beberapa dengan rasa, aroma, dan warna, diciptakan ketika senyawa *aminoketose* menjalani sejumlah penataan, konversi, penambahan, dan polimerisasi lebih lanjut. Reaksi ini membentuk ribuan senyawa dalam makanan dan hanya sebagian kecil yang berulang kali berkontribusi pada bau dan rasa makanan yang dimasak, seperti 2,3-butanedione dalam popcorn dan steak panggang.

Selama beberapa dekade terakhir, ada upaya besar oleh para ilmuwan makanan untuk mencari tahu bagaimana mempengaruhi produk akhir. Mereka telah melihat berbagai gula awal dan protein serta bagaimana perbedaan suhu, tingkat pH, tingkat kelembaban, dan bahan-bahan lainnya memengaruhi penciptaan produk aroma, roma yang diinginkan dan tidak diinginkan. Idenya adalah untuk mengetahui bagaimana mengontrol proses Maillard yang tidak bisa diatur seperti yang terjadi dalam makanan. Misalnya asam amino utamanya yang mendorong kualitas bau, bukannya gula. Reaksi glisin menghasilkan bau seperti bir, reaksi valin menghasilkan bau roti gandum khas, dan sistein adalah asam amino yang bertanggung jawab untuk banyak aroma daging dan kerupuk.

Reaksi Maillard juga dapat mengubah tekstur dan konsistensi makanan. Sebagai contoh, reaksi Maillard digunakan untuk menambahkan gula ke protein lactalbumin, yang kemudian digunakan untuk membuat yogurt agar-agar. Sementara itu, menambahkan gula ke protein yang disebut  $\beta$ -laktoglobulin dalam keju olahan membuat produk lebih lembut dan lebih kental. Meskipun menghasilkan beberapa rasa makanan yang dimasak lebih menyenangkan serta warna coklat yang menarik seperti kerak roti, kecap, dan daging panggang, sebenarnya reaksi Maillard juga memiliki "sisi gelap" dimana menghasilkan akrilamida dan furan yang menyebabkan kanker dalam makanan, khususnya makanan yang dilakukan pengolahan atau dibakar. Peneliti medis juga telah menemukan bahwa reaksi Maillard terjadi secara spontan di jaringan manusia, dan produk-produknya telah dikaitkan dengan berbagai penyakit, termasuk diabetes dan katarak.



Gambar 107. Contoh Produk Hasil Reaksi Maillard.

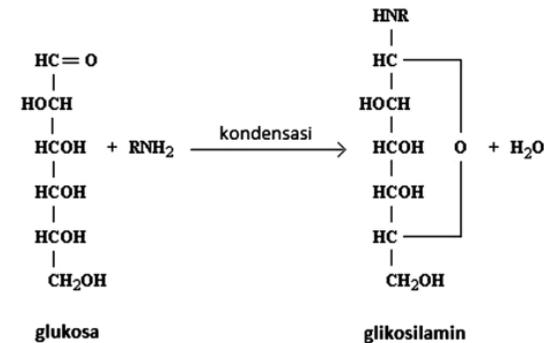
*Browning* pada produk pangan yang dihasilkan dari proses pemanasan atau penyimpanan biasanya karena reaksi kimia antara gula pereduksi, terutama D-glukosa dan gugus amino primer (asam amino bebas atau gugus amino pada rantai samping molekul protein). Reaksi ini disebut reaksi Maillard. Ketika senyawa karbonil (aldosa atau ketosa) dipanaskan dengan amina, terjadi berbagai reaksi yang menghasilkan banyak senyawa, tetapi kedua reaktan tersebut menghilang secara perlahan. Beberapa senyawa yang dihasilkan diantaranya adalah rasa, aroma, dan warna kecoklatan yang dapat dikehendaki atau tidak dikehendaki.

Reaksi maillard melalui 5 tahapan, yaitu kondensasi karbonil amino, perubahan glikosilamin menjadi amadori, dehidrasi ketosamin, degradasi *stocker* dan polimerisasi.

#### 1. Kondensasi Karbonil Amino

Pada tahap ini terjadi reaksi antara gugus karbonil (aldehida maupun keton yang berasal dari gula reduksi) yaitu glukosa dengan gugus amino yang berasal dari asam amino, peptida, protein (protein primer maupun protein sekunder misalnya asam amino glisin). Apabila reaktannya berupa senyawa amina dan aldosa (glukosa), maka hasil reaksinya yaitu aldosamin, dan apabila amina bereaksi dengan glukosa akan terbentuk glikosilamin. Sebelum terbentuk glikosilamin,

terbentuk basa Schiff (RHC=NHR') terlebih dahulu, kemudian segera berubah menjadi glikosilamin dan reaksi ini disebut reaksi karbonil amino.



Gambar 108. Reaksi Karbonil Amino.

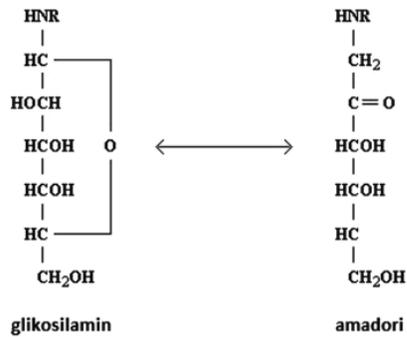
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Senyawa hasil reaksi ini masih tetap tidak berwarna. Aktivitas kedua reaktan tersebut satu sama lain tergantung pada jenis gula maupun jenis asam amino. Pentosa lebih reaktif daripada heksosa. Aldosa pada umumnya lebih reaktif daripada ketosa, monosakarida lebih reaktif daripada disakarida.

Reaksi ini sifatnya reversibel dan senyawa glikosilamin mudah terhidrolisa oleh larutan asam. Adanya gugus NH<sub>2</sub> dari amin, asam amino atau protein akan menghambat reaksi kondensasi karena senyawa tersebut akan menurunkan pH. Oleh karena itu, diharapkan untuk menaikkan kecepatan reaksi kondensasi diperlukan pH tinggi atau pH alkalis.

#### 2. Perubahan Glikosilamin menjadi Amadori

Glikosilamin mengalami perubahan menjadi fruktosamin atau 1-amino-1-deoksi-d-fruktosa yang disebut dengan amadori. Senyawa amadori merupakan senyawa perantara awal dalam urutan reaksi *browning*.



Gambar 109. Perubahan Amadori.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

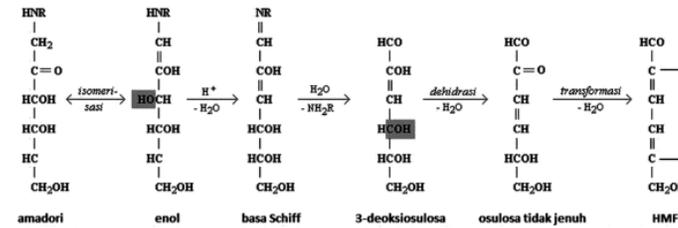
### 3. Dehidrasi Ketosamin

Pada tahap ini hasil-hasil perubahan Amadori mengalami perubahan lebih lanjut melalui berbagai jalan dalam pembentukan pigmen warna, yaitu melalui jalan media asam atau netral dan melalui jalan media kering atau melalui redukton.

#### a. Melalui Media Asam atau Netral

Senyawa amadori mengalami transformasi melalui empat jalur menjadi empat senyawa perantara. Hasilnya merupakan campuran kompleks dari senyawa perantara dan produk. Tiga dari senyawa perantara yang terbentuk adalah 1-,3-dan 4-deoksidikarbonil, yang biasa dikenal dengan 1-,3-dan 4-deoksiosulosa. Pembentukan zat perantara ini paling mudah terjadi pada kondisi pH 4-7. Paling lazim dari zat perantara ini biasanya 3-deoksiosulosa (lebih tepat disebut 3-deoksiheksosulosa). Kemudian senyawa tersebut mengalami eliminasi hidroksil pada C<sub>4</sub> melalui hidrolisa menghasilkan osulosa tidak jenuh yang umumnya terjadi pada suhu tinggi dan pH 5 atau lebih rendah. Osulosa tersebut akan mengalami transformasi

membentuk **Hydroxy Methyl Furfural (HMF)** dengan jalan mengeluarkan molekul air.

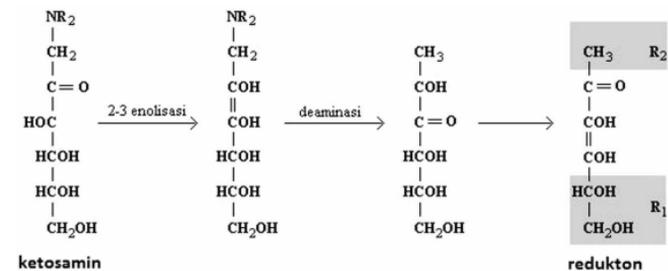


Gambar 110. Pembentukan HMF Melalui Media Asam atau Netral.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Dengan terakumulasinya HMF, maka segera akan terbentuk pigmen berwarna gelap. Oleh karena itu, dengan menentukan jumlah HMF menggunakan spektrofotometer dapat digunakan untuk memprediksi kecepatan *browning* suatu bahan pangan yang disimpan atau diolah.

#### b. Melalui Media Kering

Mekanisme pembentukan HMF melalui media kering ini terbentuk senyawa perantara berupa redukton yang rumusnya R<sub>1</sub>-COH=COHCO-R<sub>2</sub>.

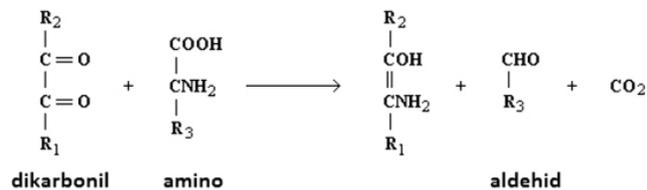


Gambar 111. Pembentukan Redukton.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Redukton merupakan antioksidan. Redukton mempunyai daya mereduksi sangat tinggi atau sangat kuat. Redukton mengalami dehidrasi, kondensasi dengan amin dan akhirnya terjadi polimerisasi membentuk melanoidin. Di samping itu juga terbentuk senyawa berberat molekul lebih kecil seperti diasetil, asam asetat, piruvaldehid dan sebagainya.

#### 4. Degradasi Stecker

Adanya senyawa dikarbonil tertentu, maka asam amino akan mengalami dekarboksilasi dan deaminasi asam amino menjadi aldehid. Reaksi ini disebut degradasi Stecker. Pada tahap ini terjadi proses degradasi dan pemecahan. Aldehid yang terbentuk (yang berasal dari asam amino) jumlah atom C-nya berkurang dan terlepas sebagai CO<sub>2</sub>.



Gambar 112. Degradasi Stecker.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Terbentuknya aldehid dalam reaksi ini dapat menyebabkan terjadinya flavor tertentu sebagai akibat tercampurnya beberapa macam senyawa pada reaksi *browning* non enzimatis. Senyawa flavor yang dapat terbentuk diantaranya adalah 3-metilpropanal (metional, CH<sub>3</sub>-S-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CHO) dari L-metionin, fenilasetaldehida (Ph-CH<sub>2</sub>-CHO) dari L-fenilalanin, metilpropanal ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-CH-CHO) dari L-valin, 3-metilbutanal

((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-CH-CH<sub>2</sub>-CHO) dari L-leusin dan 2-metilbutanol ((CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>) (CH<sub>3</sub>-CH-CHO) dari L-isoleusin.

#### 5. Polimerisasi

Senyawa perantara seperti furfural dan derivatnya, deoksiosula dan osulosa tidak jenuh, aldehid dari degradasi Stecker, aldehid dan keton dari pemecahan gula dan sebagainya merupakan senyawa yang reaktif. Kemudian akan terjadi polimerisasi membentuk senyawa kompleks yang mengandung nitrogen dengan berat molekul tinggi berwarna coklat yang disebut melanoidin. Senyawa melanoidin bersifat larut dalam air dan senyawa ini belum diketahui strukturnya. Masing-masing polimer (HMF, furfural dan lainnya) yang membentuk melanoidin bervariasi dalam warna (coklat hingga hitam), berat molekul, kandungan nitrogen, dan kelarutan.

Produk dari reaksi maillard, termasuk polimer yang larut dan tidak larut, terbentuk dimana gula pereduksi dan asam amino, protein dan/atau senyawa yang mengandung nitrogen dipanaskan bersama. Reaksi maillard yang diinginkan pada proses memanggang, misalnya pada roti dan kue serta daging panggang. Senyawa volatil yang dihasilkan oleh reaksi Maillard selama proses memanggang, menggoreng, dan sebagainya sering memberikan flavor yang diinginkan.



Gambar 113. Reaksi Maillard yang Diinginkan pada Roti.  
(Sumber: reddit.com)

Produk reaksi maillard juga merupakan kontributor penting untuk rasa pada cokelat susu, karamel, dan kopi, dimana gula pereduksi bereaksi dengan protein susu. Reaksi Maillard juga menghasilkan rasa, terutama zat pahit yang mungkin diinginkan, misalnya dalam kopi. Di sisi lain, reaksi Maillard dapat menyebabkan rasa tidak enak dan aroma tidak sedap, misalnya pada proses memanggang daging atau ikan.



Gambar 114. Kopi yang Belum Dipanggang (Kiri) dan Kopi yang Sudah Dipanggang dan Mengalami reaksi Browning.  
(Sumber: greencoffes.org)

Tabel 19.

Aroma yang Terbentuk dari Berbagai Asam Amino dengan Glukosa.

Jenis Asam Amino yang Tercampur Dengan Glukosa	Aroma yang Timbul Pada Pemanasan	
	100°C	180°C
-	-	Karamel
Valin	Seperti roti	Seperti coklat
Leusin	Seperti permen coklat	Seperti keju terbakar
Prolin	Seperti protein terbakar	Sedap
Glutamin	Seperti coklat	Seperti mentega
Aspartat	Seperti permen batu	Seperti karamel
Lisin	-	Seperti roti

(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Produk lain dari reaksi maillard adalah protein yang dimodifikasi. Modifikasi protein utamanya merupakan hasil reaksi rantai samping unit l-lisin dan l arginin dengan senyawa yang mengandung gugus karbonil seperti gula pereduksi, oson, furfural, HMF dan turunan pirol. Misalnya, reaksi gugus  $\epsilon$ -amino dari unit l-lisin dalam molekul protein yang diikuti oleh penataan ulang amadori akan mengubah unit l-lisin menjadi unit N-fruktofuranosil-lisin. Reaksi lebih lanjut menghasilkan cincin furan dan pirol tersubstitusi yang dibentuk dari unit fruktofuranosil dan melekat pada molekul protein. Reaksi semacam ini menghancurkan asam amino. Karena l-lisin adalah asam amino esensial, hal ini menyebabkan pengurangan kualitas gizi dari bahan pangan. Kehilangan lisin dan arginin sekitar 15%–40% dalam bahan pangan yang dipanggang adalah hal yang umum terjadi.

Campuran produk yang terbentuk dari reaksi maillard tergantung dari suhu, waktu, pH, sifat gula pereduksi dan sifat asam amino. Gula yang berbeda mengalami reaksi pencoklatan dengan laju yang berbeda. Misalnya, d-glukosa mengalami reaksi pencoklatan lebih cepat daripada d-fruktosa. Amina sekunder menghasilkan produk reaksi yang berbeda dari amina primer. Penggunaan panas umumnya diperlukan, karena reaksinya memiliki energi aktivasi yang tinggi.

Laju reaksi Maillard juga dipengaruhi oleh aktivitas air ( $a_w$ ) dari produk pangan dan mencapai nilai maksimum pada  $a_w$  pada kisaran 0,60-0,70. Jadi, untuk beberapa produk pangan, reaksi maillard dapat dikontrol dengan mengendalikan aktivitas air serta dengan mengontrol konsentrasi reaktan, waktu, suhu, dan pH.

Variabel reaksi yang dapat dikontrol untuk menambah atau mengurangi reaksi maillard adalah sebagai berikut:

1. Suhu yang digunakan dan waktu pada suhu tersebut. Penurunan suhu akan menurunkan laju reaksi.
2. Derajat keasaman (pH), dimana penurunan pH akan menurunkan laju reaksi.

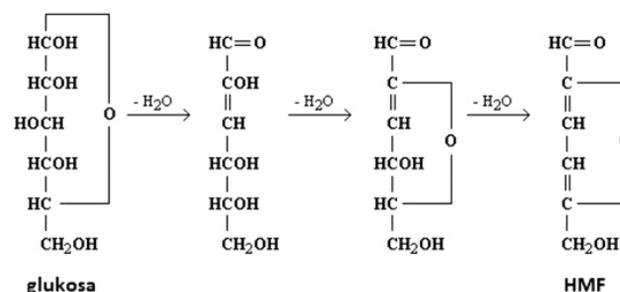
3. Penyesuaian kadar air. Laju reaksi maksimum terjadi pada nilai aktivitas air 0,60-0,70 (sekitar 30% kelembaban).
4. Gula.
5. Keberadaan ion logam transisi yang mengalami oksidasi satu elektron dalam kondisi yang mendukung energi, seperti ion Fe (II) dan ion Cu (I) (reaksi radikal bebas mungkin terlibat di dekat akhir proses pembentukan pigmen).

### 2.5.1.2 Karamelisasi

1 Pada kenyataannya gula (khususnya sukrosa dan gula pereduksi) dapat mengalami proses *browning* tanpa adanya senyawa amino, tetapi memerlukan suhu yang sangat tinggi. Gula murni dapat mengalami karamelisasi dengan cepat bila dipanaskan dengan suhu yang melampaui titik leburnya.

3 Bila suatu larutan sukrosa diuapkan maka konsentrasinya akan meningkat, demikian juga titik didihnya. Keadaan ini akan terus berlangsung sampai seluruh air menguap semua dan cairan yang ada bukan terdiri dari air tetapi berupa sukrosa yang lebur. Bila sukrosa tersebut terus dipanaskan hingga suhunya melampaui titik lebur sukrosa (160°C), misalnya pada suhu 170°C, maka terjadilah karamelisasi sukrosa.

1 Beberapa senyawa bukan amino dapat bertindak sebagai katalisator. Senyawa-senyawa tersebut berupa garam dari asam karboksilat (sitrat, fumarat, tartrat, malat) dengan fosfat, alkali, dan asam. Secara pasti mekanisme karamelisasi belum diketahui. Untuk itu, digunakan asumsi bahwa mekanismenya sama dengan *browning* gula-amino melalui enolisasi, dehidrasi dan pemecahan hingga terbentuk *Hydroxy Methyl Furfural* (HMF).



Gambar 115. Reaksi Karamelisasi.

(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Karamel diproduksi secara komersial baik sebagai bahan pewarna dan sebagai pemberi cita rasa. Untuk membuat karamel, karbohidrat dipanaskan sendiri atau ditambahkan asam, basa, atau garam. Karbohidrat yang paling sering digunakan adalah sukrosa, tetapi D-fruktosa, D-glukosa (dekstrosa), gula invert, sirup glukosa, HFS (*High Fructose Syrup*), sirup malt, dan molase juga dapat digunakan.



Gambar 116. Gula yang Telah Mengalami Karamelisasi.

(Sumber: bromabakery.com)

Asam-asam yang dapat digunakan adalah asam sulfat, sulfur, fosfat, asetat, dan asam sitrat tingkat makanan. Basa yang dapat digunakan adalah amonium, natrium, kalium, dan kalsium hidroksida. Garam yang dapat digunakan adalah amonium, natrium, dan kalium karbonat, bikarbonat, fosfat, sulfat, dan bisulfit. Jadi, ada sejumlah besar variabel, termasuk suhu dalam pembuatan karamel. Amonia dapat bereaksi dengan zat antara, seperti 3-deoksiosulosa, yang diproduksi oleh termolisis untuk menghasilkan pirazin dan imidazol.

Apabila soda ditambahkan ke dalam gula yang telah dikaramelisasi, maka adanya panas dan asam akan mengeluarkan gelembung-gelembung CO<sub>2</sub> yang menyebabkan cairan karamel mengembang dan bila didinginkan akan membentuk benda keropos yang rapuh.

Terdapat 4 kelas karamel yang diketahui, yaitu:

#### 1. Karamel Kelas I

Karamel kelas I yang disebut juga dengan karamel biasa atau karamel kaustik yang dibuat dengan memanaskan karbohidrat tanpa sumber ion amonium atau sulfit; asam atau basa dapat digunakan.

#### 2. Karamel Kelas II

Karamel kelas II yang disebut juga dengan karamel sulfit kaustik yang dibuat dengan memanaskan karbohidrat dengan adanya penambahan sulfit, tetapi tanpa adanya ion amonium; asam atau basa dapat digunakan. Karamel ini digunakan untuk menambah warna pada bir dan minuman beralkohol lainnya, berwarna coklat kemerahan, mengandung partikel koloid dengan muatan yang sedikit negatif, dan memiliki pH 3-4.

#### 3. Karamel Kelas III

Karamel kelas III yang disebut juga dengan amonium karamel dibuat dengan memanaskan karbohidrat dengan adanya sumber ion amonium, tetapi tanpa adanya ion sulfit; asam atau basa dapat digunakan. Karamel ini digunakan dalam produk roti, sirup, dan puding, berwarna coklat kemerahan,

mengandung partikel koloid dengan muatan positif, dan memberikan pH 4,2-4,8.

#### 4. Karamel Kelas IV

Karamel kelas IV yang disebut juga dengan sulfit amonium karamel yang dibuat dengan memanaskan karbohidrat dengan adanya penambahan ion sulfit dan amonium. Asam atau basa dapat digunakan. Karamel ini digunakan dalam minuman ringan seperti cola, minuman asam lainnya, makanan yang dipanggang, sirup, permen, makanan hewan peliharaan, dan bumbu kering, berwarna coklat, mengandung partikel koloid dengan muatan negatif, dan memberikan pH 2-4,5.

Dalam hal ini, garam asam mengkatalisasi pembelahan ikatan glikosidik sukrosa, dan ion amonium berpartisipasi dalam reaksi penataan ulang Amadori. Pigmen dalam keempat jenis karamel adalah molekul polimer besar dengan struktur kompleks dan tidak diketahui. Polimer inilah yang membentuk partikel koloid. Laju pembentukannya meningkat dengan meningkatnya suhu dan pH. Tentu saja, karamelisasi juga dapat terjadi selama proses pemasakan atau membuat kue, terutama ketika terdapat gula.

### 1. Mekanisme karamelisasi

Karamelisasi yang diinduksi secara normal juga terjadi selama pemanasan. Gula (biasanya struktur monosakarida) pertama-tama harus mengalami penataan ulang antar molekul. Tergantung pada waktu dan suhu, warna kuning dan coklat diperoleh ketika glukosa padat atau larutan glukosa dipanaskan. Rasa yang dihasilkan bervariasi dari pahit ringan, seperti karamel dan manis hingga terbakar. Reaksi tersebut menyebabkan pelepasan H<sup>+</sup>, sehingga pH larutan yang mengalami karamelisasi jatuh bersamaan dengan waktu, akhirnya ke daerah yang agak masam pada pH 4-5. Reaksi karamelisasi ini dilanjutkan oleh isomerisasi

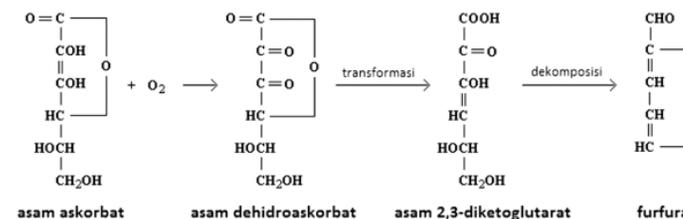
gula dan reaksi degradasi gula. Monosakarida dalam media alkali berair mengalami transformasi reversibel dan irreversibel. Urutan reaksi degradasi gula reversibel dengan enolisasi awal yang dikenal sebagai penataan ulang yang menghasilkan keseimbangan monosakarida netral dan terionisasi (Brand dan Van Boekel, 2001). Reaksi diikuti oleh dehidrasi atau eliminasi  $\beta$ , reaksi dikarboksilat, reaksi retro-aldol, kondensasi aldol dan akhirnya reaksi radikal. Reaksi enolisasi sangat penting karena memulai rantai peristiwa selanjutnya. Reaksi-reaksi ini menimbulkan produk degradasi gula alifatik yang dapat bereaksi lebih lanjut untuk menghasilkan senyawa heterosiklik oksigen dan karbosiklik melalui kondensasi aldol (Kroh, 1994). Dekomposisi gula mengarah pada pembentukan volatil (aroma karamel) dan senyawa berwarna coklat (warna karamel). Warna dan aroma bergantung pada gula yang digunakan dan sebagian besar dibentuk melalui deoksiosulosa, zat antara 0-heterosiklik dan karbosiklik serta gula rendah berat molekul. Glyoxal, methylglyoxal dan diacetyl juga dapat dibentuk langsung dari karbohidrat. Senyawa-senyawa ini dapat timbul dari theisomerisasi dan retro-aldolisasi berikutnya dari molekul gula yang sesuai, atau dengan pembelahan 1-deoxyhexosulose.

## 2. Oksidasi Vitamin C (Asam Askorbat)

Vitamin C (asam askorbat) merupakan senyawa reduktor dan dapat bertindak sebagai prekursor untuk pembentukan warna coklat. Dekomposisi asam askorbat terjadi oleh adanya udara atau dibawah kondisi oksidatif. Asam-asam askorbat berada dalam keseimbangan dengan asam dehidroaskorbat. Dalam suasana asam, cincin lakton asam dehidroaskorbat akan terurai secara *irreversible* dengan membentuk suatu senyawa asam 2,3-diketogulonat. **Selanjutnya asam 2,3-diketogulonat mengalami dekomposisi dan membentuk furfural sebagai suatu senyawa intermediet.**

Karena asam askorbat merupakan reduktor, maka asam askorbat dapat langsung melakukan **polimerisasi dengan** senyawa **amin** dan

**menghasilkan warna coklat. Tetapi pada tahap awalnya asam askorbat harus mengalami dekomposisi.**



Gambar 117. Oksidasi Asam Askorbat.

(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

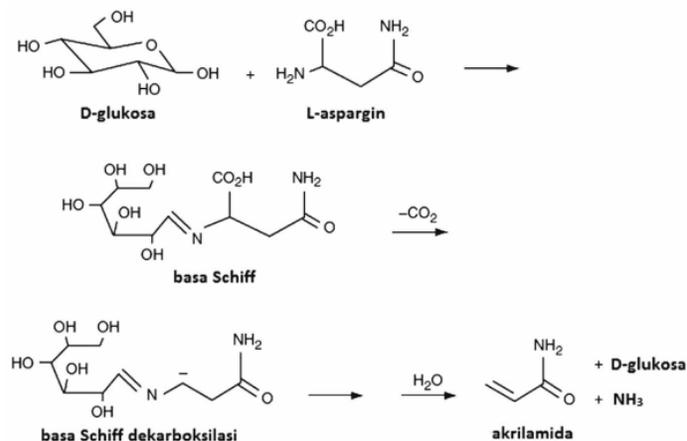
**1** Dalam industri sari buah, **proses pencoklatan yang disebabkan oleh oksidasi asam askorbat merupakan proses yang umum terjadi. Suatu larutan yang terdiri dari asam askorbat dan asam amino lebih cepat berubah warna menjadi gelap dibandingkan larutan yang terdiri dari gula dan asam amino dalam kondisi yang sama. Pencoklatan juga dapat terjadi dalam larutan asam askorbat murni, terutama dalam kondisi pH yang tinggi.**

### 2.5.1.3 Pembentukan Akrilamida dalam Produk pangan

Akrilamida dikenal sebagai neurotoksikan dan mungkin merupakan zat karsinogen pada manusia yang lemah dengan tingkat paparan yang jauh lebih tinggi daripada yang diperoleh dari produk pangan. Akrilamida terutama berasal dari reaksi orde kedua antara gula pereduksi dan gugus  $\alpha$ -amino dari L-asparagin bebas. Produk kentang yang mengalami proses penggorengan seperti keripik kentang dan kentang goreng sangat rentan terhadap pembentukan akrilamida karena kentang mengandung D-glukosa bebas dan L-asparagin bebas.

Reaksi yang paling mungkin terjadi melalui senyawa perantara basa Schiff, yang kemudian mengalami dekarboksilasi, diikuti oleh

pembelahan ikatan karbon-karbon untuk membentuk akrilamida, yang atom-atomnya berasal dari L-asparagin.



Gambar 118. Mekanisme Pembentukan Akrilamida pada Produk pangan.  
(Sumber: (Sumber : BeMiller dan Huber, 2007)

Reaksi maillard terlibat dalam pembentukan akrilamida dalam banyak produk pangan yang mengalami proses pemanasan hingga suhu tinggi. Tingkat akrilamida (biasanya <1,5 ppm) telah dilaporkan dalam berbagai produk pangan yang diproses dengan menggoreng, memanggang, memanggang, atau pengolahan suhu tinggi lainnya selama produksi.

Akrilamida tidak terdeteksi pada bahan produk pangan yang tidak dipanaskan atau bahkan direbus, seperti kentang rebus, karena suhu selama mendidih tidak naik di atas  $100^\circ\text{C}$ . Akrilamida tidak terdeteksi atau terdeteksi hanya pada tingkat yang sangat rendah dalam buah-buahan kalengan atau beku, sayuran, dan produk protein nabati (burger nabati dan produk terkait) dengan pengecualian zaitun matang tanpa biji.

Pembentukan akrilamida membutuhkan suhu minimum  $120^\circ\text{C}$ , yang berarti tidak dapat terjadi pada produk pangan dengan kadar air yang tinggi. Dengan pemanasan yang diperpanjang dan pada suhu di atas  $200^\circ\text{C}$ , kadar akrilamida sebenarnya dapat menurun melalui reaksi eliminasi atau degradasi termal. Tingkat akrilamida pada produk pangan juga dipengaruhi oleh pH.

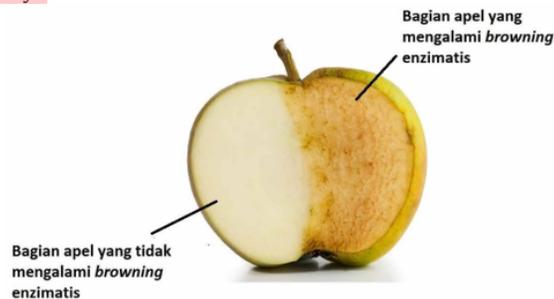
Produk dengan jumlah luas permukaan yang tinggi seperti keripik kentang, adalah produk pangan olahan bersuhu tinggi yang menunjukkan tingkat akrilamida tertinggi. Luas permukaan produk pangan yang terbuka dapat menjadi faktor tambahan, asalkan substrat reaksi dan suhu pemrosesan cukup untuk pembentukan akrilamida.

Terdapat beberapa upaya untuk meminimalisir pembentukan akrilamida dalam produk pangan, yaitu penghilangan salah satu atau kedua substrat (gula dan asparagin bebas), perubahan kondisi pemrosesan dan penghilangan akrilamida setelah terbentuk dari produk pangan. Dimungkinkan untuk mengurangi 60% kadar akrilamida dalam produk kentang olahan karena akan mengurangi gula dan asparagin bebas melalui proses *blanching* atau perendaman dalam air. Penurunan pH atau konversi asparagin menjadi asam aspartat (menggunakan *asparaginase*) dan penambahan garam terbukti akan mengurangi pembentukan akrilamida.

## 2.5.2 Browning Enzimatis

*Browning* enzimatis umumnya terjadi pada buah dan sayuran yang baru dipotong, seperti apel, pisang, kentang dan sebagainya yang banyak mengandung senyawa fenolik. *Browning* enzimatis terjadi lebih cepat dan dikatalisis oleh enzim. Jaringan buah dan sayuran yang terluka apabila berhubungan dengan udara maka jaringan tersebut akan segera menjadi coklat. Kadang-kadang proses *browning* ini diinginkan pada beberapa komoditi, misalnya pada pengolahan teh dan cacao,

tetapi kadang-kadang tidak diinginkan misalnya pada apel, pisang, dan sebagainya.



Gambar 119. Browning Enzimatis Pada Apel.  
(Sumber: *scientificamerican.com*)

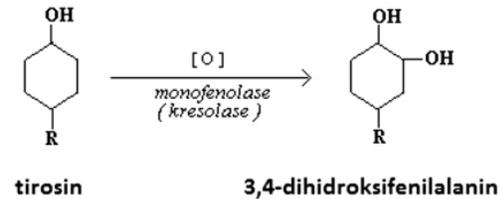
Dasar reaksi enzimatisnya yaitu reaksi oksidasi terhadap fenol atau polifenol oleh enzim-enzim. Penamaan enzim penyebab oksidasi fenol atau polifenol ini belum dibakukan, seringkali hanya disebut fenol oksidase, polifenol oksidase, fenolase, polifenolase, yang masing-masing bekerja secara spesifik untuk substrat tertentu. Substrat dari enzim tidak sama untuk setiap buah-buahan atau sayuran, beberapa diantaranya katekol, tirosin, 3,4-dihidro-fenil alanin, asam-asam kafeat, klorogenat, galat, urusinol, hidroksiquinon, antosianin, dan flavonoida. Senyawa fenolik dengan jenis ortodihidroksi atau trihidroksi yang saling berdekatan merupakan substrat yang baik untuk proses pencoklatan.

Terdapat dua tipe reaksi yang sering dijumpai dalam reaksi *browning* enzimatis, yaitu hidrolisa dan oksidasi.

### 2.5.2.1 Hidrolisa

Hidrolisa atau *cresolase activity* terjadi pada senyawa fenol yang hanya mengandung satu gugus hidroksil disebut monofenol misalnya tirosin. Reaksi ini akan menghasilkan ortho difenol atau katekol. *cresolase activity* terhadap tirosin oleh enzim katekolase menghasilkan 3,4-dihidroksifenilalanin (DOPA). *Kresolase* termasuk enzim transferase

artinya enzim ini mempunyai aktivitas mentransfer oksigen ke substrat. Reaksi ini penting pada *browning* enzimatis pada jaringan kentang dan biosintesa melanin pada binatang.



Gambar 120. Oksidasi Monofenol.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

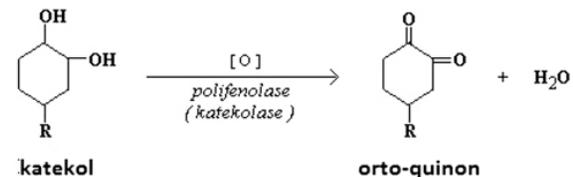
Catatan:



Substrat pada kentang yaitu asam amino tirosin. Pada binatang tirosin merupakan prekursor melanin yaitu pigmen pada rambut dan kulit binatang.

### 2.5.2.2 Oksidasi

Oksidasi atau *catecholase activity* terjadi pada senyawa fenol dengan kandungan gugus hidroksil sebanyak dua buah disebut difenol, misalnya katekol. Reaksi ini akan menghasilkan ortoquinon. reaksi katekol (orto-difenol) oleh enzim *polifenoloksidase* atau *katekolase* atau *polifenolase* dengan hasil berupa orto-quinon.



Gambar 121. Oksidasi Difenol.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

**1** Polifenolase merupakan senyawa Cu-protein dengan berat molekul 25.000–35.000, mempunyai pH optimum dekat dengan 7, relatif tahan terhadap pemanasan, tetapi inaktif pada pemanasan 100°C selama 2–10 menit. Pada teh substrat yang dominan adalah katekin, setelah mengalami oksidasi akan menghasilkan theaflavin yang berwarna oranye. Pada pisang substrat yang dominan adalah 3,4-dihidroksifeniletamin suatu fenol yang mengandung nitrogen.

Perbedaan dari kedua reaksi tersebut yaitu terletak pada substratnya. Untuk reaksi hidrosilasi menggunakan substrat monofenol, sedangkan untuk reaksi oksidasi menggunakan substrat difenol. Urutan reaksi *browning* enzimatis secara keseluruhan antara lain tahap awal terjadi absorpsi oksigen yang sering juga terbentuk CO<sub>2</sub>. Selanjutnya terjadi oksidasi secara nonenzimatis terhadap monofenol oleh orto-quinon, disamping itu juga adanya aktivitas enzim kresolase menghasilkan polifenol. Kemudian polifenol oleh enzim polifenoloksidase akan diubah secara oksidatif menjadi orto-quinon.

**1** Tahap berikutnya yaitu terjadi polimerisasi atau kondensasi orto-quinon membentuk melanin, yaitu pigmen berwarna merah ungu-coklat-hitam.

## 2.6 Serat Bahan Pangan (*Dietary Fiber*)

Karbohidrat selalu menjadi sumber utama energi metabolik bagi manusia dan berfungsi sebagai sarana untuk menjaga kesehatan saluran pencernaan manusia. Serat-serat yang terdapat dalam bahan pangan yang tidak dicerna mempunyai sifat positif bagi metabolisme tubuh. Istilah yang digunakan untuk serat tersebut adalah *dietary fiber*.

Serat bahan pangan (*dietary fiber*) merupakan komponen dari jaringan tanaman yang tahan terhadap hidrolisis oleh enzim dalam lambung dan usus kecil. Serat-serat tersebut umumnya ditemukan pada dinding sel dari berbagai sayuran dan buah-buahan. Dinding sel tanaman, terutama selulosa, hemiselulosa, pektin dan lignin lainnya

merupakan komponen serat bahan pangan. Satu-satunya ciri umum dari beberapa polimer tersebut adalah bahwa polimer tersebut tidak dapat dicerna, yang merupakan kriteria utama untuk diklasifikasikan sebagai komponen serat bahan pangan. **3** Walaupun demikian, serat kasar tidak identik dengan *dietary fiber*, kira-kira hanya sekitar satu per lima sampai setengah dari serat kasar yang memiliki fungsi sebagai *dietary fiber*.

*Dietary fiber* memiliki peran penting dalam nutrisi karena mempertahankan fungsi normal saluran pencernaan. Adanya *dietary fiber* dalam bahan pangan menyebabkan rasa kenyang pada waktu makan. Ahli gizi menetapkan kebutuhan *dietary fiber* manusia yaitu sekitar 25–50 g per hari.

Tabel 20. **7** *Dietary Fiber* Tidak Larut dalam Air dan Larut dalam Air.

Karakteristik	Komponen Serat
Tidak larut dalam air	Selulosa Hemiselulosa Lignin Kitin
Larut dalam air	Pektin β-glukan Gum Mucilage

(Sumber: Dhingra, dkk. 2012)

Umumnya *dietary fiber* terdiri dari dua macam, yaitu serat **7** tidak larut dalam air dan serat larut dalam air. Secara umum, serat tidak larut dalam air berfungsi untuk meningkatkan massa feses dan ekskresi asam empedu serta mengurangi waktu transit makanan dalam usus (efek pencahar). Serat tidak larut air diklaim dapat menurunkan kadar

kolesterol darah, mengurangi kemungkinan penyakit jantung dan juga dapat mengurangi kemungkinan kanker usus besar. Sedangkan serat larut dalam air dapat meningkatkan waktu transit total dengan menunda pengosongan lambung dan juga memperlambat penyerapan glukosa.

<sup>3</sup> *Dietary fiber* bila dikonsumsi secara kontinyu dapat mengeluarkan lebih banyak asam empedu, juga lebih banyak sterol dan lemak yang dikeluarkan bersama feses. Serat-serat tersebut dapat mencegah penyerapan kembali asam empedu, kolesterol dan lemak pada usus. Selain itu adanya molekul hidrofilik dalam jumlah besar dapat menjaga kandungan air yang cukup dalam usus sehingga menghasilkan feses yang lebih empuk dan halus. Akibatnya feses lebih mudah melewati usus besar.

Tabel 21.

Fungsi dan Manfaat *Dietary Fiber* pada Kesehatan Manusia.

Fungsi	Manfaat untuk Tubuh
Menambahkan massa makanan sehingga membuat lebih cepat kenyang	Dapat mengurangi nafsu makan
Menyerap air dan berubah menjadi gel selama proses pencernaan, menjebak karbohidrat dan memperlambat penyerapan glukosa	Menurunkan kadar gula
Menurunkan kolesterol total dan LDL	Mengurangi resiko penyakit jantung
Mengatur tekanan darah	Mengurangi resiko serangan atau gejala sindrom metabolisme dan diabetes
Mempercepat jalannya makanan melalui sistem pencernaan	Memperlancar sistem pencernaan
Menambah massa feses	Mengurangi sembelit
Menyeimbangkan pH usus dan merangsang fermentasi produksi asam lemak rantai pendek dalam usus	Dapat mengurangi risiko kanker kolorektal

(Sumber: Dhingra, dkk. 2012)

Istilah *dietary fiber* juga termasuk zat selain polimer, karena kriteria utamanya adalah zat yang tidak dapat dicerna dalam usus kecil manusia, maka oligosakarida yang tidak dapat dicerna seperti rafinosa dan stakiosa pun termasuk kedalam *dietary fiber*.

Tabel 22.

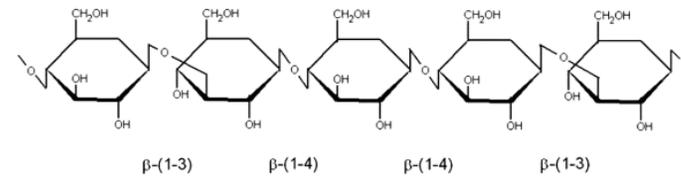
Kandungan *Dietary Fiber* dari beberapa Bahan Pangan.

Sumber	<i>Dietary Fiber</i> (g/100g bahan pangan)		
	Total	Tidak Larut dalam Air	Larut dalam Air
Barley	17,3	-	-
Jagung	13,4	-	-
Oat	10,3	6,5	3,8
Beras	1,3	1,0	0,3
Nasi	0,7	0,7	0,0
Gandum utuh	12,6	10,2	2,3
Gandum	14,0	12,9	1,1
Kacang hijau	1,9	1,4	0,5
Kacang kedelai	15,0	-	-
Kacang polong	3,5	3,2	0,3
Kentang (tanpa kulit)	1,3	1,0	0,3
Bayam	2,6	2,1	0,5
Tomat	1,2	0,8	0,4
Terong	6,6	5,3	1,3
Mentimun	0,6	0,5	0,1
Kembang kol	1,8	1,1	0,7
Seledri	1,5	1,0	0,5
Wortel	2,5	2,3	0,2
Brokoli	3,29	3,0	0,29

Apel	2,0	1,8	0,2
Kiwi	3,39	2,61	0,8
Mangga	1,8	1,06	0,74
Nanas	1,2	1,1	0,1
Semangka	0,5	0,3	0,2
Anggur	1,2	0,7	0,5
Jeruk	1,8	0,7	1,1
Strawberry	2,2	1,3	0,9
Pisang	1,7	1,2	0,5
Persik	1,9	1,0	0,9
Pear	3,0	2,0	1,0
Almond	11,2	10,1	1,1
Kelapa	9,0	8,5	0,5
Kacang tanah	8,0	7,5	0,5
Kacang mete	6,0	-	-

(Sumber: Dhingra, dkk. 2012)

$\beta$ -glukan merupakan *dietary fiber* yang termasuk ke dalam polisakarida yang larut dalam air.  $\beta$ -glukan umumnya ditemukan di dalam oat atau sekam barley. Oat  $\beta$ -glukan telah menjadi bahan pangan komersial karena telah terbukti efektif dalam mengurangi kadar kolesterol serum. Molekul oat  $\beta$ -glukan adalah rantai linier dari unit  $\beta$ -D-glukopiranosil. Sekitar 70% terikat sebagai (1-4) dan sekitar 30% sebagai (1-3). Ikatan (1-3) terjadi secara tunggal dan dipisahkan oleh urutan dua atau tiga ikatan (1-4). Jadi, molekulnya terdiri dari (1-3)- $\beta$ -selotriosil [-3]- $\beta$ -glukopiranosil-(1-4)- $\beta$ -glukopiranosil-(1-4)- $\beta$ -glukopiranosil-(1-) dan unit  $\beta$ -selotetraosil.



Gambar 122. Struktur  $\beta$ -glukan.

(Sumber: *researchgate.net*)

Di antara beberapa sereal, kandungan  $\beta$ -glukan yang tertinggi adalah pada barley dengan 2-20 g per 100 g berat kering dimana 65% nya merupakan fraksi yang larut dalam air dan pada oat yaitu 3-8 g per 100 g berat kering dimana 82% nya merupakan fraksi yang larut dalam air. Sereal lain yang mengandung  $\beta$ -glukan tetapi dalam jumlah yang lebih rendah (per 100 g berat kering) yaitu pada sorgum 1,1-6,2 g, gandum 1,3-2,7 g, jagung 0,8-1,7 g, gandum 0,5-1,0 g, gandum durum 0,5-0,6 g, dan beras 0,13 g. Sumber  $\beta$ -glukan lainnya termasuk beberapa jenis rumput laut dan berbagai spesies jamur seperti Reishi, Shiitake, dan Maitake.



Gambar 123. (a) Barley dan (b) Oat yang Merupakan Sumber  $\beta$ -glukan

(Sumber: *pinterest.com*)

Ketika  $\beta$ -glukan dikonsumsi efeknya akan menurunkan kolesterol, mengurangi kadar gula darah dan indeks glikemik bersamaan dengan sifat antioksidan, anti kanker dan radikal bebas. Efek menurunkan kolesterol merupakan sifat khas dari *dietary fiber* larut. Polisakarida terlarut lainnya juga memiliki efek yang serupa tetapi dengan derajat yang berbeda.

## BAB 3 LIPID

Lipida merupakan suatu senyawa heterogen yang terdapat di alam yang bersifat tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik seperti alkohol, kloroform, eter, heksana, atau benzena. Lipida mengandung gugus hidrokarbon dengan rantai panjang di dalam molekulnya, yang tersusun oleh atom karbon (C), Hidrogen (H), dan Oksigen (O), tetapi mengandung jumlah hidrogen lebih banyak dan oksigen yang lebih sedikit dibandingkan karbohidrat. Beberapa lipida mengandung atom N dan P. Tidak seperti karbohidrat dan protein, lipida tidak berperan dalam memperkuat struktur jaringan tanaman/hewan. Pada umumnya lipida berbentuk padatan lunak atau yang biasa disebut **lemak** dan cair yang biasa disebut dengan **minyak** pada suhu kamar dan keduanya sulit mengkristal.

Lemak dan minyak adalah senyawa ester non-polar yang tidak larut dalam air yang dihasilkan oleh tanaman dan hewan. Lemak dan minyak yang dihasilkan dari tanaman disebut lemak nabati, sedangkan yang berasal dari hewani disebut lemak hewani. Lemak dan minyak merupakan bahan baku yang banyak digunakan dalam pengolahan pangan, seperti margarin, *shortening*, minyak goreng dan produk olahan pangan lainnya. Lipid (lemak dan minyak) memiliki fungsi yang penting dalam pengolahan pangan, yaitu sebagai sumber energi, pembentukan tekstur, kualitas sensorik produk, medium pindah panas pada proses penggorengan, dan pelarut bagi vitamin esensial yang larut lemak (A, D, E dan K). Lipida merupakan zat pangan yang sangat

penting untuk menjaga kesehatan tubuh manusia. Satu gram lipida dapat menghasilkan 9 kkal atau 37 kJ, sedangkan karbohidrat dan protein hanya dapat menghasilkan 4 kkal per gram.

Lipid makanan diklasifikasikan sebagai lipid non polar, misalnya trigliserida dan kolesterol serta sebagai lipid polar, misalnya fosfolipid yang dibedakan dari sifat kelarutan dan sifat fungsionalnya. Beberapa senyawa yang termasuk ke dalam golongan lipid, seperti asam lemak rantai sangat pendek C1-C4, benar-benar larut dengan air dan tidak larut dalam pelarut nonpolar. Selain itu, beberapa senyawa yang termasuk ke dalam golongan lipid, seperti asam lemak trans (yang tidak berasal dari hidrogenasi bakteri), tidak berasal dari organisme hidup.

Persamaan antara lemak dan minyak adalah keduanya merupakan trigliserida yang merupakan ester asam lemak dengan gliserol, sedangkan perbedaannya adalah pada bentuk fisik keduanya dalam suhu ruang, dimana lemak berbentuk padat dan minyak berbentuk cair. Berdasarkan sifat titik cair tersebut di atas, dikenal 2 macam istilah dalam gliserida yaitu minyak dan lemak. Minyak adalah gliserida yang berbentuk cair sedangkan lemak berbentuk padat pada suhu ruang. Karena ketidakjenuhan gliserida mengakibatkan adanya perbedaan titik cair gliserida, sehingga hal ini dapat dijadikan prinsip dalam pembuatan lemak padat dan lemak cair.

Umumnya lemak dan minyak terdiri dari trigliserida, digliserida, monogliserida, asam lemak, fosfolipid, sterol, vitamin yang larut dalam lemak, pigmen, hidrokarbon, hasil-hasil oksidasi, *trace metal* dan air. Lemak yang terdapat di alam kebanyakan merupakan campuran trigliserida dengan sedikit monogliserida, digliserida dan sedikit asam lemak bebas. Sedangkan lemak yang sudah mengalami proses pengolahan kemungkinan mengandung monogliserida dan digliserida yang lebih banyak yaitu lebih dari 20%.

Kandungan lemak total dalam bahan pangan dihitung sebagai total asam lemak sebagai trigliserida yang dapat terekstraksi menggunakan metode dan prosedur dari AOAC (*Association of Official Analytical*

*Chemists*). Kandungan lemak total dan komposisi lemak dalam bahan dan produk pangan dapat sangat bervariasi.

Trigliserida terdapat di beberapa jaringan pada organ hewan dan di beberapa tumbuhan. Minyak atau lemak, terutama minyak nabati, mengandung asam-asam lemak esensial seperti asam linoleat, asam linolenat, dan asam arakidonat yang dapat mencegah pembuluh darah akibat penumpukan kolesterol. Lemak hewani mengandung banyak sterol yang disebut dengan kolesterol, sedangkan lemak nabati mengandung fitosterol dan lebih banyak mengandung asam lemak tak jenuh sehingga umumnya lemak nabati berbentuk cair.

Lemak memiliki peran penting yaitu sebagai sumber energi, asam lemak esensial dan *carrier* beberapa vitamin yang larut dalam lemak, selain itu lemak dapat juga berfungsi sebagai komponen transportasi dalam tubuh manusia. Lemak juga memainkan peran penting dalam kualitas makanan. Selain berfungsi sebagai emulsifier, lemak juga berkontribusi pada peningkatan penerimaan makanan terhadap konsumen dimana lemak mempengaruhi atribut sensoris bahan atau produk pangan seperti tekstur, dan rasa, serta meningkatkan nutrisi dan kalori dari bahan dan produk pangan.

Lemak dan minyak dalam bahan atau produk pangan dibagi menjadi 2 golongan, yaitu :

1. Lemak yang siap untuk dikonsumsi tanpa dimasak.

Lemak dan minyak sering ditambahkan ke dalam bahan pangan dengan berbagai tujuan misalnya untuk menambah kalori, pelarut zat flavor tertentu, menambah flavor, memperbaiki tekstur, bahkan sebagai *edible film* atau *edible coating*. Contoh dari lemak yang siap untuk dikonsumsi tanpa dimasak yaitu mentega, margarin atau lemak yang ditambahkan ke dalam bahan atau produk pangan.

- Lemak yang dimasak bersama bahan pangan atau dijadikan sebagai medium penghantar panas.

Minyak dan lemak dapat berfungsi sebagai media penghantar panas dalam memasak bahan atau produk pangan, misalnya minyak goreng, margarin, mentega

Lemak dan minyak umumnya didapatkan dari pangan nabati (tumbuh-tumbuhan) dan hewani, dimana lemak umumnya lemak nabati berbentuk cair (minyak) dan lemak hewani berbentuk padat.

Tabel 23. Sumber Lipid pada Bahan Pangan Nabati dan Hewani

Jenis Lemak	Lemak atau Minyak
Nabati	Minyak jagung, minyak kacang tanah, minyak <i>rape seed</i> , minyak wijen, minyak kedelai, minyak biji bunga matahari, minyak biji kapas, minyak zaitun, minyak kelapa, minyak sawit, lemak coklat
Hewani	Lemak susu, lemak keju, lemak daging, lemak babi, mentega, <i>shortening</i> dan minyak ikan sardin, minyak ikan paus, minyak ikan lumba-lumba

### 3.1. Sumber Lipid

Lemak dan minyak yang dapat dimakan dihasilkan oleh alam yang dapat bersumber dari bahan nabati atau hewani. Lemak atau minyak dapat diklasifikasikan berdasarkan sumbernya yaitu bersumber dari tanaman yang berupa biji-bijian palawija, kulit buah tanaman tahunan, biji-bijian dari tanaman tahunan. Dan sumber yang lain adalah dari hewani yaitu susu hewan peliharaan berupa lemak susu, daging hewan peliharaan berupa lemak sapi, dari hasil laut berupa minyak ikan sardine dan sejenisnya. Komposisi atau jenis lemak dan sifat fisiko-kimia tiap jenis minyak berbeda-beda dan hasil ini disebabkan oleh perbedaan sumber; iklim, keadaan tempat tumbuh dan pengolahan. Adapun

perbedaan umum antara lemak nabati dan hewani adalah lemak hewan mengandung kolesterol sedangkan lemak nabati mengandung tosterol. Perbedaan yang lain, kadar asam lemak tidak jenuh dalam lemak hewani lebih kecil dari lemak nabati. (Ketaren, 1986).

Lipid (lemak dan minyak) merupakan salah satu nutrisi yang diperlukan oleh tubuh, baik yang berasal dari bahan nabati maupun hewani. Walaupun komposisinya berbeda, lipid nabati dan hewani memiliki manfaat yang sama, yaitu membantu metabolisme tubuh, sebagai bahan pelarut berbagai vitamin, seperti A, D, E, dan K. Selain itu, lipid juga berfungsi untuk menghasilkan energi jika cadangan karbohidrat dalam tubuh telah habis. Sebenarnya baik atau tidaknya suatu lipid tergantung pada jenisnya, bukan berdasarkan sumber lipidnya. Secara umum, jenis lipid yang baik untuk tubuh memang lebih banyak terkandung dalam sumber makanan nabati, dibandingkan hewani. Namun, hal ini bukan berarti lipid nabati lebih baik dari hewani dan hanya boleh mengonsumsi lemak nabati saja, karena beberapa sumber makanan nabati juga mengandung lemak yang tidak baik bagi tubuh, yaitu lemak jenuh dan lemak trans.

Sumber pangan lemak/minyak nabati terdiri atas beberapa jenis lemak yang berbentuk minyak. Beberapa minyak yang dihasilkan dari tumbuhan juga ternyata memiliki kandungan lemak jenuh, misalnya minyak kelapa sawit. Jika lemak jenuh dikonsumsi terlalu banyak, efeknya akan sama saja dengan mengonsumsi sumber lemak jenuh dari hewani, yaitu meningkatkan risiko penyakit jantung. Selain lemak jenuh, beberapa jenis makanan sumber lemak/minyak nabati juga mengandung lemak tak jenuh tunggal dan ganda. Contohnya adalah minyak zaitun, minyak jagung, minyak almond, dan minyak biji bunga matahari. Lemak tak jenuh dalam makanan sumber lemak nabati ini pun terbagi lagi menjadi jenis tunggal dan ganda. Kedua jenis lemak tak jenuh itu memiliki manfaat untuk menjaga kesehatan jantung dan mencegah penumpukan lemak pada pembuluh darah, dengan cara meningkatkan kadar lemak baik dalam tubuh.



Gambar 124. Sumber Lemak/minyak Nabati.

### 3.1.1 Sumber Lemak/Minyak Nabati

Sumber lemak/minyak nabati diantaranya adalah:

#### 1. Alpukat

Alpukat berbeda dari kebanyakan buah lainnya. Sebagian besar buah mengandung karbohidrat, sedangkan alpukat mengandung lemak (77%). Kandungan lemaknya lebih tinggi dibandingkan dengan bahan pangan hewani. Asam lemak utamanya adalah lemak tak jenuh tunggal yang disebut asam oleat, merupakan asam lemak utama juga dalam minyak zaitun yang dikaitkan dengan berbagai manfaat kesehatan. Alpukat adalah salah satu sumber kalium terbaik dalam makanan, bahkan mengandung 40% lebih banyak kalium dibandingkan buah pisang. Alpukat dan pisang merupakan sumber serat yang baik. Penelitian telah menunjukkan bahwa buah alpukat dan pisang dapat menurunkan kolesterol LDL dan trigliserida, sekaligus meningkatkan kolesterol HDL ("baik"). Meskipun tinggi lemak dan kalori, hasil penelitian menunjukkan bahwa orang yang makan alpukat cenderung memiliki berat badan lebih ringan dan memiliki lemak yang lebih sedikit di bagian

perut dibandingkan dengan yang tidak mengonsumsi buah alpukat.

#### 2. Cokelat Hitam

Cokelat hitam mengandung kalori yang tinggi, yaitu sekitar 65%. 11% serat dan memiliki lebih dari 50% RDA untuk zat besi, magnesium, tembaga, dan mangan. Coklat hitam banyak pula kandungan antioksidan (flavanol dan polifenol) yang merupakan salah satu bahan pangan dengan skor tertinggi antioksidannya yang bahkan mengungguli *blueberry*. Beberapa antioksidan di dalamnya memiliki aktivitas biologis yang kuat, dapat menurunkan tekanan darah dan melindungi kolesterol LDL dalam darah agar tidak teroksidasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa orang yang makan coklat hitam 5 kali atau lebih per minggu kurang dari setengah kemungkinan meninggal karena penyakit jantung dibandingkan dengan yang tidak makan coklat hitam. Ada juga beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa *dark chocolate* dapat meningkatkan fungsi otak, dan melindungi kulit dari kerusakan saat terkena sinar matahari.

Cokelat hitam mengandung 50-90% padatan kakao, mentega kakao, dan gula, sedangkan cokelat susu mengandung 10-50% padatan kakao, mentega kakao, susu dalam beberapa bentuk, dan gula. Meskipun cokelat hitam tidak boleh mengandung susu, mungkin ada jejak susu dari kontaminasi silang selama pemrosesan, karena mesin yang sama sering digunakan untuk memproduksi susu dan cokelat hitam. Cokelat berkualitas lebih rendah juga dapat menambahkan lemak mentega, minyak sayur, atau pewarna atau perasa buatan. Cokelat putih tidak mengandung padatan kakao dan hanya terbuat dari mentega kakao, gula, dan susu.

Penelitian klinis menunjukkan bahwa konsumsi cokelat memiliki efek menguntungkan pada lipid serum. Konsumsi

*dark chocolate* meningkatkan konsentrasi serum kolesterol HDL sebesar 4%. Meskipun beberapa artikel yang berkaitan dengan komposisi kimia dari sampel kakao yang berbeda telah dipublikasikan, namun artikel tentang komposisi asam lemak dan kandungan kolesterol kakao dan coklat agak terbatas dalam literatur.

### 3. Kacang Kedelai

Meskipun kacang-kacangan mengandung sejumlah lemak (kedelai mengandung 19 persen lemak) namun sebagian besar adalah lemak tak jenuh. Kandungan lemak tak jenuh ganda kedelai termasuk asam linolenat atau asam lemak omega-3. Yang membuatnya istimewa adalah kehadiran omega-3, dimana sedikit asam lemak esensial ini pada tanaman, yang biasanya banyak didapat dari manfaat minyak ikan. Asam lemak omega-3 merupakan nutrisi penting yang membantu untuk mengurangi risiko penyakit jantung dan kanker. Rata-rata% asam lemak dari total lipid adalah: 19,08 asam palmitoleat; 15,80 asam oleat; 44,77 asam linoleat dan 12,94 asam linolenat.

Minat terhadap nutrisi kedelai semakin meningkat. Kedelai dipanen untuk produksi minyak dan kedelai, tetapi juga dapat digunakan sebagai sayuran. Kedelai matang dan kedelai tipe ladang masing-masing mengandung protein dan asam linoleat yang tinggi. Ada korelasi yang signifikan diantara nutrisi tersebut. Semua nutrisi menunjukkan perbedaan yang signifikan diantara genotipe, menunjukkan variabilitas yang tinggi. Saat memilih genotipe untuk produksi, perhatian harus diberikan pada kandungan nutrisi dari genotipe untuk membudidayakan kedelai nabati yang memiliki kandungan asam oleat dan serat yang ditingkatkan.

### 4. Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera*L.) dikenal sebagai "pohon kehidupan". Daging buahnya dilapisi kulit tipis, dilindungi tempurung keras,

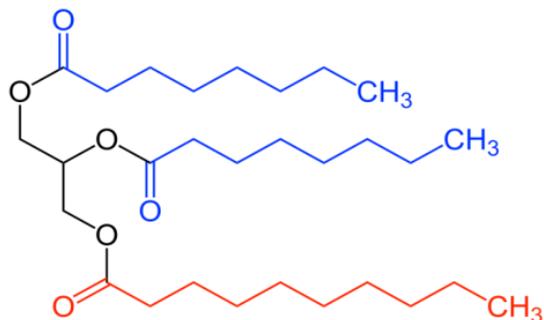
sabuttebal dan kulit luar yang halus permukaannya. Kelapa merupakan pohon yang mempunyai berbagai kegunaan dan potensi serta mudah ditemukan di Philipina, Malaysia dan Indonesia. Air kelapa digunakan untuk minuman dan *nata de coco*.

Kelapa mengandung MCFA (*Medium Chain Fatty Acid*) yang dapat meningkatkan kadar metabolik tubuh dan selanjutnya mampu mengurangi berat badan. Penyebabnya sifat-sifat MCFA yang mudah diubah menjadi energi dibandingkan disimpan sebagai lemak di dalam tubuh. Sedangkan yang membentuk MCFA adalah asam lemak kaprilat (C8) sebesar 50%-80%, asam kaprat (C10) sebesar 20%-50% dan sebagian kecil lemak dari asam kaproat (C6) sebesar 1%-2%, dan asam laurat (C12) sebesar 1%-2%. MCFA lebih didominasi oleh asam lemak jenuh yang mempunyai rantai C8 (kaprilat) sampai C10 (kaprat) dengan sedikit asam lemak C6 dan C12. Kelapa segar juga mengandung triasilgliserol berantai sedang (MCFA) yang sangat berguna untuk kesehatan. Penyebabnya asam lemak berantai sedang ini tidak disimpan sebagai lemak. Kandungan triasilgliserol berantai sedang dalam kelapa segar adalah 70,5%.

Daging kelapa diproses untuk pengeluaran santan kelapa dan digunakan untuk masakan. Kelapa juga diproses menjadi kelapa parut, santan, minyak goreng, serbuk kelapa, kosmetik dan untuk bahan-bahan kedokteran. Santan mengandung asam lemak jenuh, asam lemak mono takjenuh dan asam lemak poli takjenuh. Asam lemak jenuh terdiri dari C6, C8, C10, C12, C14 dan C18. Sedangkan asam lemak mono takjenuh terdiri dari asam lemak oleik (C18:1) dan asam lemak poli takjenuh yaitu asam lemak linoleik (C18:2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebanyak 89%-91% kandungan santan terdiri dari asam lemak jenuh. Sebanyak 91,2% asam lemak jenuh terdapat pada daging kelapa muda. Sebanyak 88,4% asam lemak jenuh

terdapat pada santan kelapa. Santan dan kelapa terkenal dengan MCFA yang tinggi. Walaupun MCFA bukan merupakan sumber asam lemak yang penting, tetapi MCFA mudah diserap dan dipergunakan sebagai sumber energi secara optimal.

Minyak kelapa tua terdiri dari 48.2% asam laurat (C12:0) dan 16.6% asam miristat (C14:0), yaitu asam lemak berantai sederhana yang baik untuk kesehatan. Asam laurat merupakan asam lemak yang terdapat dalam susu ibu.



Gambar 125. Struktur Kimia MCFA (*Medium Chain Fatty Acid*).

Minyak kelapa kaya akan asam lemak rantai sedang, tetapi kekurangan asam lemak tak jenuh ganda (PUFA). Lipid terstruktur (SL) yang diperkaya dengan omega 6 PUFA disintesis dari trigliserida minyak kelapa dengan cara asidolisis enzimatis dengan asam lemak bebas yang diperoleh dari minyak safflower. Tikus diberi makan makanan yang mengandung minyak kelapa, campuran minyak kelapa-minyak safflower (1: 0,7 b / b) atau lipid terstruktur pada tingkat 10% selama 60 hari. SL menurunkan kadar kolesterol serum masing-masing 10,3 dan 10,5% dibandingkan dengan mereka yang diberi minyak kelapa dan minyak campuran. Demikian pula, kadar kolesterol hati juga menurun masing-masing

sebesar 35,9 dan 26,6% pada hewan yang diberi makan lipid jika dibandingkan dengan mereka yang diberi minyak kelapa atau minyak campuran. Sebagian besar penurunan yang diamati pada kadar kolesterol serum hewan yang diberi makan lipid terstruktur ditemukan pada fraksi LDL. Kadar trigliserida dalam serum menunjukkan penurunan sebesar 17,5 dan 17,4% sedangkan di hati berkurang sebesar 45,8 dan 23,5% pada lemak terstruktur yang diberi makan hewan dibandingkan dengan mereka yang diberi makan minyak kelapa atau minyak campuran. Studi kalorimetri pemindaian diferensial menunjukkan bahwa lipid terstruktur memiliki titik leleh dan kandungan lemak padat yang lebih rendah jika dibandingkan dengan minyak kelapa atau minyak campuran. Studi ini menunjukkan bahwa pengayaan trigliserida minyak kelapa dengan asam lemak omega 6 menurunkan kandungan lemak padatnya. Lipid terstruktur yang diperkaya omega 6 PUFA juga menunjukkan aktivitas hipolipidemik.

#### 5. Kacang Tanah

Apabila kacang almond dan kacang kenari cenderung sulit dicari, Anda bisa mencoba kacang tanah yang dijual di pasar terdekat. Kacang tanah juga menjadi sumber lemak nabati dengan rentang porsi 44-56%. Lemak dalam kacang tanah utamanya tersusun atas lemak tak jenuh ganda dan tak jenuh tunggal. Secara spesifik, jenis asam lemak dalam kacang tanah yaitu, asam linoleat dan asam oleat.

#### 6. Kacang Kenari

Kacang kenari kaya akan kandungan asam lemak omega-3. Kacang kenari memang kesannya sulit dicari. Namun, seperti kacang almond, kacang ini juga menjadi sumber lemak nabati yang dengan mudah bisa dibeli secara *online*. Sebagian besar kalori dalam kacang kenari memang berasal dari lemak. Kacang kenari banyak mengandung asam lemak tak jenuh ganda

omega-6 yang disebut asam linoleat. Namun, kacang ini juga mengandung jenis asam lemak omega-3 yang disebut ALA atau asam alfa-linolenat. Kacang kenari menjadi satu-satunya kacang yang mengandung ALA yang tinggi.

Jumlah asam lemak omega 3 yang tinggi yang ditemukan di kenari membuatnya menjadi makanan yang sangat baik untuk otak. Hampir dua pertiga orang Amerika mengalami kekurangan asam lemak omega 3. Kekurangan lemak omega 3 dapat menghilangkan tingkat fungsi otak. Sebuah studi yang dilakukan oleh Purdue University mengungkapkan bahwa anak-anak yang memiliki asupan asam lemak omega 3 yang rendah memiliki masalah perilaku dan gangguan belajar. Asam lemak Omega 3 juga bermanfaat untuk mengurangi depresi, ADHA dan penyakit Alzheimer. Kenari dan minyak walnut atau minyak kenari berkontribusi untuk menurunkan tingkat stres dan tekanan darah. Hal ini telah diterbitkan dalam *Journal of American College of Nutrition*.

#### 7. Kacang Almond

Almond adalah kacang paling populer di Amerika Serikat. Favorit para pelaku diet, dalam beberapa tahun terakhir almond menjadi terkenal karena keserbagunaan dan manfaat kesehatannya. Menurut Departemen Pertanian AS, permintaan almond orang Amerika telah meningkat lebih dari 400 persen sejak 1980. Pada 2016, orang Amerika makan rata-rata 1,8 lbs. (816 gram) kacang almond. Ada alasan bagus untuk perselingkuhan. "Almond telah dipelajari secara ekstensif untuk manfaatnya pada kesehatan jantung, diabetes, dan manajemen berat badan," kata Jenny Heap, ahli diet terdaftar di Almond Board of California. "Kombinasi nutrisi unik dari almond – protein nabati, serat dan lemak tak jenuh tunggal, ditambah nutrisi utama seperti vitamin E dan magnesium - membantu menjadikannya camilan yang menyehatkan jantung."

"Ounce per ons, almond lebih tinggi serat, kalsium, vitamin E, riboflavin dan niasin daripada kacang pohon lainnya," kata Heap Live Science. "Setiap porsi satu ons (sekitar 23 almond) menyediakan 6 gram protein dan 4 gram serat, ditambah vitamin E, magnesium, riboflavin, kalsium dan kalium. Selain itu, almond adalah makanan indeks glikemik rendah."

Seperti kacang lainnya, almond mengandung lemak dalam jumlah yang cukup tinggi, yaitu sekitar 14 gram per satu ons sajian. Untungnya, sekitar dua pertiganya adalah lemak tak jenuh tunggal yang menyehatkan jantung, menurut situs web Makanan Sehat Dunia The George Mateljan Foundation.

Sebuah studi tahun 2005 yang diterbitkan dalam *Journal of Nutrition* menunjukkan bahwa almond mengemas nutrisi terbesar jika dimakan utuh, dengan kulit cokelatnya (tidak pucat), bukan dengan kulitnya yang dikukus (pucat). Studi tersebut mengidentifikasi 20 flavonoid antioksidan kuat pada kulit almond. Dikombinasikan dengan kandungan vitamin E yang tinggi dalam daging almond, flavonoid ini memberi almond paket nutrisi unik yang mungkin berimplikasi pada kadar kolesterol, peradangan dan banyak lagi.

Kacang almond telah menjadi primadona dalam budaya hidup sehat dan menjadi salah satu sumber lemak nabati. Untuk setiap 28 gram kacang almond, lemak total yang terkandung di dalamnya yakni sekitar 14 gram. Sekitar 9 gram dari lemak tersebut yakni lemak tidak jenuh tunggal yang menyehatkan. Kacang almond juga populer sebagai sumber vitamin E. Vitamin ini memiliki efek antioksidan yang membantu melindungi sel dari kerusakan oksidatif.

#### 8. Minyak Zaitun

Minyak zaitun adalah lemak cair yang diperoleh dari buah zaitun (buah *Olea europaea*; famili *Oleaceae*), tanaman pohon tradisional di Cekungan Mediterania. Diproduksi dengan memeras

buah zaitun utuh dan mengekstraksi minyaknya. Biasanya digunakan dalam memasak, untuk menggoreng makanan atau sebagai saus salad. Minyak zaitun juga digunakan dalam kosmetik, obat-obatan, dan sabun, dan sebagai bahan bakar untuk lampu minyak tradisional. Zaitun adalah salah satu dari tiga tanaman makanan inti dalam masakan Mediterania, dua lainnya adalah gandum dan anggur. Pohon zaitun telah tumbuh di sekitar Mediterania sejak milenium ke-8 SM. Lima besar produsen minyak zaitun berdasarkan volume adalah Spanyol, Italia, Tunisia, Yunani, dan Turki. Konsumsi per kapita tertinggi di Yunani, diikuti oleh Italia dan Spanyol.

Komposisi minyak zaitun bervariasi dengan kultivar, ketinggian, waktu panen dan proses ekstraksi. Terdiri dari asam oleat (hingga 83%), dengan jumlah yang lebih kecil dari asam lemak lainnya termasuk asam linoleat (hingga 21%) dan asam palmitat (hingga 20%). Minyak zaitun extra virgin harus memiliki keasaman bebas tidak lebih dari 0,8% dan dianggap memiliki karakteristik rasa yang disukai. Tak dipungkiri lagi, minyak zaitun ekstra virgin merupakan salah satu sumber lemak nabati yang amat menyehatkan. Minyak zaitun ekstra virgin utamanya tersusun atas lemak sehat asam oleat. Sementara itu, minyak zaitun juga mengandung lemak jenuh namun kadarnya jauh lebih sedikit. Selain memberikan asam oleat, minyak zaitun ekstra virgin juga mengandung vitamin E dan K. Efek antioksidan dalam minyak zaitun juga membuatnya menjadi minyak utama dalam gaya hidup sehat.

Minyak zaitun extra virgin banyak digunakan sebagai saus salad dan sebagai bahan saus salad. Minyak zaitun olahan cocok untuk menggoreng karena titik asapnya lebih tinggi dan rasanya lebih lembut. Minyak extra virgin memiliki titik asap sekitar 180–215° C, dengan minyak berkualitas lebih tinggi yang memiliki titik asap lebih tinggi, sedangkan minyak zaitun

yang disuling memiliki titik asap hingga 230° C. Merupakan “mitos populer” bahwa minyak zaitun extra virgin berkualitas tinggi adalah pilihan yang tidak tepat untuk memasak, karena titik asapnya di atas suhu yang diperlukan untuk memasak dan memiliki ketahanan yang lebih besar terhadap oksidasi sebagian besar minyak goreng lainnya, sebagai akibat dari kandungan antioksidan dan lemak tak jenuh tunggal. Rasa minyak zaitun dipengaruhi oleh varietas yang digunakan untuk menghasilkan minyak dan pada saat buah zaitun dipanen dan digiling. Buah zaitun yang kurang matang memberikan rasa yang lebih pahit dan pedas, sedangkan buah zaitun yang matang memberikan sensasi yang lebih manis di dalam minyak.

Minyak zaitun terutama terdiri dari campuran trigliserida ester asam oleat, asam linoleat, asam palmitat dan asam lemak lainnya, bersama dengan sisa squalene (hingga 0,7%) dan sterol (sekitar 0,2% fitosterol dan tokosterol). Komposisinya bervariasi menurut kultivar, wilayah, ketinggian, waktu panen, dan proses ekstraksi. Minyak buah zaitun mengandung fenolat (sekitar 0,5%), seperti ester tirosol, hidroksitirosol, oleosantal dan oleuropein, yang memberikan minyak zaitun extra virgin rasa pahit, dan menyengat. Minyak zaitun adalah sumber dari 30 senyawa fenolik, di antaranya adalah asam elenolat, (penanda pematangan buah zaitun) dan alfa-tokoferol (salah satu dari delapan “anggota keluarga” Vitamin E).

#### 9. Margarin

Margarin, produk pangan yang terutama dibuat dari satu atau lebih lemak atau minyak nabati atau hewani yang diencerkan dalam porsi encer yang mengandung produk susu, baik padat maupun cair, garam, dan bahan lain seperti zat penyedap, pigmen kuning makanan, pengemulsi, pengawet, vitamin A dan D, dan mentega. Ini digunakan dalam memasak dan sebagai olesan. Secara nutrisi, margarin terutama meru-

pakan sumber kalori.

Ahli kimia Perancis H. Mège-Mouriès mengembangkan margarin pada akhir tahun 1860-an dan mendapat pengakuan di Eropa dan paten di Amerika Serikat pada tahun 1873. Metode pembuatannya disederhanakan di Amerika Serikat menjadi proses di mana campuran lemak leleh diaduk dengan susu dan garam, dinginkan untuk memadatkan campuran, diremas hingga menjadi konsistensi plastik, dan dikemas, semuanya dengan menggunakan peralatan pengolah mentega standar pada saat itu. Lemak nabati yang digunakan sangat bervariasi, kecenderungannya dari lemak hewani yang dominan pada penggunaan awal hingga lemak nabati, terutama biji kapas, kedelai, kelapa, kacang tanah, dan minyak jagung, dan, baru-baru ini, minyak sawit. Selama akhir 1950-an, minat yang meningkat pada hubungan lemak dan minyak tak jenuh ganda dengan kesehatan mempercepat peralihan ke minyak jagung, safflower, dan bunga matahari sebagai bahan lemak margarin. Minyak ikan paus telah banyak digunakan di Eropa tetapi tidak pernah umum di Amerika Serikat.

Margarin telah lama menjadi sasaran undang-undang pembatasan yang ketat, terutama di Amerika Serikat, karena penentangan dari industri susu. Tetapi selama tahun 1930-an, produsen margarin belajar membuat margarin dari minyak dalam negeri daripada minyak impor yang sebelumnya digunakan, sehingga mendapat dukungan dari petani biji kapas dan kedelai AS. Pencabutan pembatasan federal dan sebagian besar negara bagian secara bertahap diikuti, yang mengarah pada penerimaan margarin di Amerika Serikat hingga tingkat yang sebanding dengan di sebagian besar negara Eropa.

### 3.1.2 Sumber Hewani

<sup>5</sup> Lemak hewani juga memiliki kandungan lemak jenuh sama seperti lemak nabati, seperti yang terkandung dalam daging sapi, daging kambing, daging ayam dengan kulit, mentega, keju, dan berbagai produk olahan susu lainnya. Jika lemak jenuh dalam makanan sumber lemak hewani ini dikonsumsi berlebihan, kadar *low-density lipoprotein* (LDL) atau yang dikenal sebagai kolesterol jahat akan meningkat. Peningkatan kadar kolesterol jahat ini akan menyebabkan penyumbatan pada pembuluh darah, yang jika dibiarkan dapat meningkatkan risiko berbagai penyakit degeneratif, seperti stroke, diabetes dan penyakit jantung koroner. Itulah sebabnya *American Heart Association* menganjurkan batas aman konsumsi lemak jenuh sebesar 6 persen saja dari total kalori dalam sehari. Komposisi lain yang juga terdapat dalam lemak hewani adalah lemak trans. Walaupun dalam makanan lemak ini hanya terdapat dalam jumlah yang sedikit, lemak trans justru banyak dihasilkan dari berbagai proses pemasakan, seperti menggoreng atau memanaskan margarin. Sama halnya seperti lemak jenuh, asupan lemak trans yang berlebihan juga dapat meningkatkan kadar kolesterol jahat dalam tubuh. Selain dua jenis lemak tadi, lemak hewani juga mengandung asam lemak omega-3. Berbeda dengan lemak jenuh dan trans, asam lemak omega-3 ini sangat bermanfaat bagi kesehatan, yaitu meningkatkan kemampuan kognitif, menjaga kesehatan sistem saraf dan menurunkan kadar kolesterol jahat dalam darah. Asam lemak omega-3 ini banyak terkandung dalam ikan tuna dan salmon.

Adapun bahan pangan hewani yang banyak mengandung minyak/ lemak diantaranya adalah:

1. Daging sapi

Bertentangan dengan kepercayaan populer, sebenarnya lebih banyak lemak tak jenuh dalam daging sapi dibandingkan lemak jenuhnya. Faktanya, hampir 60% lemak yang ditemukan dalam daging sapi adalah lemak tak jenuh. Asam stearat adalah

jenis lemak jenuh yang telah terbukti memiliki pengaruh yang kecil terhadap kadar kolesterol darah. Seperti yang terdapat pada daging sapi, banyak makanan mengandung lemak jenuh sebagai bagian dari 'campuran' lemaknya, bahkan makanan yang dianggap sebagai "lemak sehat". Misalnya 15% lemak dalam alpukat adalah lemak jenuh, sedangkan pada ikan salmon sebanyak 21%. Kebanyakan potongan daging sapi tidak berlemak. Berdasarkan komposit rata-rata potongan daging sapi, daging sapi memenuhi syarat untuk "klaim Health Canada" tanpa lemak.

Daging merah lebih tinggi lemak jenuhnya daripada banyak jenis daging lainnya. Oleh sebab itu untuk membatasi asupan daging merah. Jika memiliki riwayat keluarga penyakit jantung atau pernah mengalami tekanan darah tinggi atau kolesterol, disarankan untuk tidak mengonsumsi daging merah sama sekali. Daging merah memiliki kandungan lemak jenuhnya yang tinggi. Lemak jenuh menumpuk di dinding arteri, yang akan menyebabkan kondisi yang dikenal sebagai aterosklerosis, membuat jantung berdetak lebih cepat untuk mendorong darah melalui arteri mengakibatkan peningkatan tekanan darah. Keadaan ini meningkatkan risiko penyakit jantung.

Daging merah menyediakan sejumlah kecil lemak trans alami dalam bentuk asam trans-rumenic dan asam trans-vaksinasi. Jenis lemak trans ini sebenarnya bermanfaat dan tidak sama dengan lemak trans buatan hasil hidrogenasi dan digunakan dalam industri manufaktur makanan. Kedua lemak trans alami ini dikategorikan sebagai lemak omega-7 dan dapat membantu meningkatkan kadar kolesterol sehat dengan menurunkan LDL atau kolesterol jahat. Disamping itu, asam trans-rumenic adalah salah satu bentuk asam linoleat terkonjugasi.

Tidak semua lemak dalam daging merah berbahaya. Daging merah juga mengandung lemak tak jenuh ganda dan

tak jenuh tunggal. Lemak sehat ini melindungi jantung dengan meningkatkan kadar kolesterol HDL. Ganti lemak jenuh dan lemak trans yang berbahaya dengan lemak tak jenuh ganda dan tak jenuh tunggal bila memungkinkan untuk membantu menstabilkan kolesterol darah.

Konsentrasi asam lemak jenuh daging sapi segar lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak jenuh daging kambing segar pada ketiga lokasi karkas. Lemak jenuh daging sapi segar lebih besar dibandingkan dengan daging kambing segar. Daging yang memiliki konsentrasi asam lemak tak jenuh paling tinggi adalah daging kambing segar bagian perut (41,67%). Daging sapi segar pada lokasi daging has dan daging paha memiliki konsentrasi asam lemak tak jenuh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi asam lemak tak jenuh pada daging kambing lokasi daging has dan daging paha. Akan tetapi pada lokasi daging perut, daging sapi segar memiliki konsentrasi asam lemak tak jenuh lebih kecil dibandingkan dengan daging kambing segar. Asam lemak jenuh daging sapi dan kambing yang memiliki konsentrasi paling tinggi adalah palmitat. Asam palmitat merupakan salah satu asam lemak jenuh yang dapat meningkatkan kolesterol serum dan kadar lipoprotein *low-density-lipoprotein* (LDL).

Konsentrasi asam palmitat paling tinggi terdapat pada daging sapi bagian perut (26,75%) menyebabkan jumlah asam lemak jenuh pada daging tersebut lebih besar dari daging has dan daging paha. Konsentrasi asam lemak jenuh laurat paling tinggi terdapat pada daging kambing segar bagian paha (0,51%). Konsentrasi asam laurat daging sapi segar pada lokasi daging has lebih besar dibandingkan dengan daging kambing segar pada lokasi yang sama. Pada bagian perut, daging kambing segar memiliki konsentrasi asam laurat lebih tinggi dibandingkan dengan daging sapi segar. Asam laurat merupakan

asam lemak jenuh yang dapat berfungsi sebagai anti mikroba dan anti kanker/tumor. Asam lemak jenuh miristat daging sapi segar lebih besar dibandingkan dengan daging kambing segar pada ketiga lokasi karkas. Daging sapi segar pada bagian has memiliki konsentrasi miristat paling tinggi yaitu 5,05%. Pada orang sehat, makanan yang mengandung asam miristat menyebabkan hiperkolesterolemik, karena terjadi peningkatan konsentrasi kolesterol *low-density-lipoprotein* (LDL) dan sekaligus *high-density-lipoprotein* (HDL).

Konsentrasi asam lemak jenuh stearat daging kambing segar lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi stearat pada daging sapi segar pada ketiga lokasi karkas. Konsentrasi asam stearat daging kambing segar (2,34%) lebih besar dari daging sapi segar (1,36%). Konsentrasi asam lemak jenuh stearat paling tinggi terdapat pada daging kambing bagian perut (3,03%). Asam stearat (18:0) bersifat netral dalam potensi meningkatkan kolesterol. Konsentrasi asam lemak tak jenuh pada daging sapi dan daging kambing yang paling tinggi adalah oleat. Asam oleat yang memiliki satu ikatan rangkap, bersifat netral terhadap LDL, tetapi dapat meningkatkan lipoprotein HDL. Kandungan oleat paling tinggi pada daging sapi adalah pada bagian paha (41,27%).

Asam lemak jenuh daging sapi mengalami peningkatan konsentrasi setelah proses penggorengan. Ketiga lokasi karkas daging sapi goreng memiliki konsentrasi asam lemak jenuh lebih tinggi dibandingkan dengan daging sapi segarnya. Konsentrasi asam lemak jenuh daging kambing goreng juga lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak jenuh daging kambing segar. Peningkatan konsentrasi asam lemak jenuh terjadi dikarenakan terserapnya minyak kelapa ke dalam daging saat penggorengan berlangsung. Proses penggorengan meningkatkan konsentrasi asam lemak jenuh pada daging sapi dan daging kambing bagian

has, paha, dan perut. Menggoreng merupakan suatu proses untuk memasak bahan pangan dengan menggunakan lemak atau minyak. Selama menggoreng maka sebagian minyak akan terserap ke bagian bahan yang digoreng dan mengisi ruang kosong yang pada mulanya diisi air. Minyak yang digunakan untuk menggoreng adalah minyak kelapa.

Proses pengolahan juga merubah konsentrasi asam lemak tak jenuh daging sapi dan daging kambing. Penggorengan daging sapi dan daging kambing menurunkan konsentrasi asam lemak tak jenuh ketiga lokasi karkas. Menurunnya jumlah asam lemak tak jenuh ini diperkirakan karena terjadinya proses oksidasi pada daging yang mengalami proses penggorengan. Konsentrasi asam lemak tak jenuh mengalami penurunan pada daging sapi dan daging kambing pada bagian has, paha, dan perut setelah penggorengan. Kondisi penggorengan dalam wajan dengan adanya udara menjadi salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap proses oksidasi. Penyebab oksidasi dapat disebabkan oleh pemanasan, cahaya, dan hasil kerja enzim). Kecepatan oksidasi berbanding lurus dengan tingkat ketidakterjenuhan asam. Oksidasi pada asam lemak tak jenuh semakin meningkat dengan bertambahnya ikatan rangkap. Peningkatan terjadi karena grup metilen yang memiliki ikatan rangkap dua lebih reaktif dibandingkan dengan grup yang memiliki ikatan rangkap satu. Hasil pemecahan dan oksidasi ikatan rangkap dari asam lemak tidak jenuh adalah asam lemak bebas. Oksidasi spontan asam lemak tidak jenuh didasarkan pada serangan oksigen pada ikatan rangkap sehingga membentuk hidroperoksida tidak jenuh yang bersifat reaktif. Asam lemak tidak jenuh akan rusak dan hasil dari akibat kerusakan tersebut sebagian besar dapat menguap. Keadaan tersebut dapat menyebabkan jumlah asam lemak tak jenuh pada daging goreng menjadi menurun dibandingkan dengan daging segarnya.

## 2. Daging Ayam

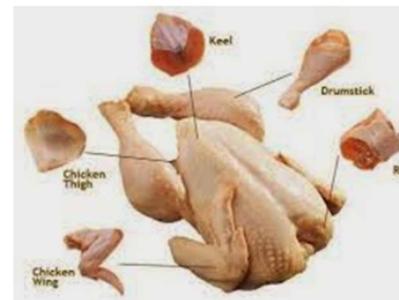
Lemak adalah salah satu dari tiga makronutrien dan tubuh membutuhkan cukup banyak nutrisi ini setiap hari untuk energi, melindungi dan mengisolasi organ vital, menyimpan dan mengangkut vitamin serta membantu produksi hormon. Menurut Institute of Medicine, sekitar 20 hingga 35 persen dari total kalori harus berasal dari lemak. Dada ayam seberat 87 g mengandung sekitar 8 g lemak total. Jadi dada ayam dapat menyediakan sekitar 13 persen dari total kebutuhan lemak makanan harian mengkonsumsi diet 2.000 kalori. Satu porsi 87 g dada ayam mengandung 3,3 g lemak tak jenuh tunggal. Menurut American Heart Association, mengkonsumsi lemak tak jenuh tunggal dapat menurunkan kadar kolesterol darah dan mengurangi risiko penyakit kardiovaskular dan stroke. Makanan dengan lemak tak jenuh tunggal umumnya mengandung vitamin E antioksidan tinggi, yang dapat membantu melawan bahan kimia perusak sel dalam tubuh.

Dada ayam mengandung sekitar 1,7 g lemak tak jenuh ganda per 87 g porsi. Seperti lemak tak jenuh tunggal, lemak tak jenuh ganda dapat menurunkan kolesterol darah dan mengurangi risiko penyakit jantung. Yang termasuk dalam kategori lemak tak jenuh ganda adalah asam lemak esensial, atau EFA, omega-3 dan omega-6. Tidak seperti lemak lainnya, tubuh manusia tidak dapat memproduksi EFA dan harus mengkonsumsinya melalui makanan. EFA membantu fungsi otak dan pertumbuhan jaringan.

Bagian dada ayam mengandung 340 kalori dan 14 gram lemak total, 4 gram di antaranya adalah lemak jenuh. Bagian paha daging ayam memiliki 360 kalori dan 18 gram lemak total, 5 di antaranya adalah lemak jenuh. Bagian sayap daging ayam memiliki 480 kalori dan 32 gram lemak total, 9 di antaranya adalah lemak jenuh. Sebagian besar lemak di dada ayam

bermanfaat bagi kesehatan secara keseluruhan, dagingnya mengandung sedikit lemak dan kolesterol berbahaya. Dada ayam mengandung sekitar 2,3 g lemak jenuh, 0,091 g lemak trans, dan 56 mg kolesterol. Lemak jenuh dan lemak trans dapat meningkatkan kadar kolesterol darah dan meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, sementara jumlah kolesterol yang berlebihan dapat menyebabkan penumpukan plak arteri. Departemen Pertanian Amerika Serikat menyarankan untuk mengonsumsi kurang dari 10 persen dari total kalori Anda dari lemak jenuh dan trans dan membatasi asupan kolesterol Anda hingga 300 mg per hari.

Daging ayam sangat rentan terhadap oksidasi lipid karena memiliki proporsi asam lemak tak jenuh yang tinggi dan pembentukan *Coefficient of Performance* (COP) selama penyimpanan atau pengolahan menggunakan panas. Tingkat COP yang dilaporkan pada ayam segar atau yang baru diproses umumnya rendah atau tidak terdeteksi. Pada sisi lainnya, metode memasak dapat meningkatkan oksidasi kolesterol secara signifikan hingga 1,5% (COP/ kolesterol) dalam roti ayam goreng, meningkat dari 4 hingga 10 kali lipat total kandungan COP pada daging yang dimasak dibandingkan pada daging mentah.



Gambar 126. Karkas Daging Ayam

### 3. Telur

Telur utuh sebelumnya dianggap tidak sehat karena kuning telurnya tinggi kolesterol dan banyak mengandung lemak. Kenyataannya, sebutir telur mengandung 212 mg kolesterol, yang merupakan 71% dari asupan harian yang direkomendasikan. Sebanyak 62% kalori dalam telur utuh berasal dari lemak. Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa kolesterol dalam telur tidak mempengaruhi kolesterol dalam darah. Telur utuh sebenarnya banyak mengandung vitamin dan mineral. Telur bahkan mengandung antioksidan kuat yang dapat melindungi mata, dan banyak mengandung kolin yang merupakan nutrisi otak yang 90% manusia tidak cukup mendapatkannya. Telur juga merupakan makanan yang baik untuk penurunan berat badan. Mereka sangat memuaskan dan tinggi protein, nutrisi terpenting untuk menurunkan berat badan. Meskipun tinggi lemak, orang yang mengganti sarapan berbasis biji-bijian dengan telur akan makan lebih sedikit kalori dan akhirnya menurunkan berat badan.

### 4. Susu

Susu mengandung sekitar 3,4% lemak. Lemak adalah komponen struktural dari membran sel dan hormon. Lemak adalah sumber energi terkonsentrasi dan merupakan sumber energi utama yang digunakan tubuh selama aktivitas intensitas rendah dan olahraga berkepanjangan selama 90 menit. Lemak adalah bentuk penyimpanan utama dari kelebihan energi dalam tubuh. Lemak melindungi organ selama bergerak. Ada 2 asam lemak yang dianggap "esensial" yang tidak dapat dibuat oleh tubuh dan harus berasal dari makanan, yaitu asam linoleat (18: 2) dan linolenat (18: 3). Asam lemak ini digunakan untuk mensintesis asam lemak rantai panjang asam arakidonat (AA, 20: 4 $\alpha$ -6), asam docopentaenoic (DPA, 22: 4 $\alpha$ -6), asam eicosapentaenoic (EPA, 20: 5 $\alpha$ -3) dan asam docohexaenoic

(DHA, 22: 6 $\alpha$ -3). Asam lemak ini penting untuk sintesis hormon seperti prostaglandin, tromboksan, dan leukotrien yang terlibat dalam kontraksi otot, pembekuan darah, dan respons imun. Asam lemak dalam lemak susu kira-kira 65% jenuh, 29% tak jenuh tunggal, dan 6% tak jenuh ganda. Asam lemak tak jenuh ganda dalam lemak susu termasuk sejumlah kecil asam lemak esensial linoleat dan linolenat, dan sekitar 5% asam lemak trans. Asam lemak trans penting dalam lemak susu adalah asam linoleat terkonjugasi (CLA, 18: 2). Ada beberapa jenis (isomer) CLA dalam susu yang telah terbukti dapat menghambat kanker dan membantu mempertahankan massa tubuh tanpa lemak sekaligus mendorong hilangnya lemak tubuh

### 5. Daging ikan

Istilah "ikan berlemak" mungkin terdengar tidak menarik, tetapi sebenarnya ini adalah makanan paling lezat dan sehat dari laut. Ikan berminyak seperti salmon, tuna, sarden, mackerel, dan trout penuh dengan asam lemak omega-3. Lemak baik tidak seperti lemak jenuh buruk yang ditemukan pada kebanyakan daging. Asam lemak omega-3 telah terbukti menurunkan trigliserida, yaitu sejenis lemak dalam aliran darah. Asam lemak omega-3 juga dapat memperlambat pertumbuhan plak di arteri dan mengurangi peradangan di seluruh tubuh. Sejumlah penelitian selama bertahun-tahun menunjukkan manfaat berlemak. Para peneliti menemukan bahwa mendapatkan asam lemak omega-3 setiap hari dari minyak ikan dapat menurunkan kadar trigliserida hingga 25% -30%. Hasilnya dipublikasikan dalam *The American Journal of Clinical Nutrition* pada tahun 1997. Berdasarkan bukti yang semakin banyak, FDA menyetujui "klaim kesehatan yang memenuhi syarat" baru untuk efek asam lemak omega-3 (EPA dan DHA) mengurangi risiko penyakit jantung koroner. Ini juga memungkinkan produsen produk pangan yang mengandung

asam lemak omega-3 ini untuk mengiklankan bahwa produk tersebut dapat mengurangi risiko penyakit jantung. Ikan berlemak biasanya adalah ikan air dingin. The American Dietetic Association merekomendasikan: Ikan salmon, tuna, Ikan trout, Ikan haring, Sarden dan Ikan kembung untuk dikonsumsi.

Makanan laut dianggap rendah lemak total dan lemak jenuhnya. Rekomendasi diet saat ini menyarankan agar mengurangi total asupan lemak menjadi kurang dari 30 persen dari kalori yang dimakan dan membatasi asupan lemak jenuh. Ikan tanpa lemak memiliki lemak yang jauh lebih sedikit dibandingkan bahan pangan yang mengandung protein tinggi lainnya. Sebagian besar jenis ikan dan kerang mengandung lemak total kurang dari 5 persen, bahkan ikan yang paling gemuk memiliki kandungan lemak yang mirip dengan daging tanpa lemak, dan mengandung lebih sedikit lemak daripada kebanyakan daging giling, beberapa daging olahan, dan bagian paling berlemak (kulit dan daging gelap) dari produk unggas. Ikan berlemak tinggi seperti mackerel, herring dan King salmon memiliki sekitar 15% lemak total.

Untuk mendapatkan gambaran umum tentang kandungan lemak pada sebagian besar spesies ikan dengan cara melihat warna dagingnya. Spesies paling ramping seperti ikan cod dan ikan flounder memiliki warna putih atau lebih terang, sedangkan ikan yang lebih berlemak seperti salmon, herring, dan mackerel biasanya memiliki warna yang jauh lebih gelap. Kandungan lemak ikan dan kerang bisa berbeda-beda tergantung kapan dan di mana ditangkap serta faktor lainnya.

Saat mengevaluasi makanan, penting untuk mempertimbangkan jumlah total lemak dan jenis lemak yang dikandungnya. Dua jenis lemak utama adalah lemak jenuh (biasanya padat pada suhu kamar seperti mentega atau lemak babi)

dan lemak tak jenuh (biasanya cair pada suhu kamar seperti minyak nabati). Lemak tak jenuh tunggal dan tak jenuh ganda adalah dua jenis lemak tak jenuh. Sebagian besar lemak dalam ikan laut tidak jenuh, dan bahan pangan yang berasal dari laut mengandung jenis lemak tak jenuh ganda yang unik, disebut asam lemak omega-3, yang dapat memberikan manfaat kesehatan tambahan. Keunggulan Omega-3

Ada sejumlah besar bukti ilmiah yang menunjukkan bahwa asam lemak omega-3 dapat berperan dalam mengurangi risiko penyakit jantung, yang merupakan penyebab utama kematian di sebagian besar negara Barat. Para peneliti telah menemukan bahwa asam lemak omega-3 dapat membuat darah lebih kecil kemungkinannya untuk menggumpal dan menyumbat pembuluh darah. Mengonsumsi omega-3 juga dapat menurunkan kadar beberapa lemak darah dan mungkin kolesterol. Hubungan yang mungkin antara asam lemak omega-3 dan gangguan lain seperti kanker, artritis, dan asma juga sedang dipelajari.

Sebagian besar makanan hewani termasuk makanan laut mengandung beberapa kolesterol. Hampir semua jenis ikan dan kerang mengandung di bawah 100 miligram kolesterol per 3 ons sajian yang dimasak, dan banyak jenis ikan yang lebih ramping memiliki kurang dari 60 miligram. Selama bertahun-tahun, kebanyakan kerang dianggap mengandung kolesterol tinggi, tetapi hal ini terbukti tidak benar.

### 3.2. Klasifikasi Lipid

Lipid dapat diklasifikasi berdasarkan sifat fisiknya pada suhu ruang, dimana minyak berwujud cair dan lemak berwujud padat. Selain itu lipid dapat diklasifikasikan lebih lanjut berdasarkan polaritasnya, esensial atau non esensial serta strukturnya.

### 3.2.1 Klasifikasi Lipid Berdasarkan Strukturnya

Berdasarkan strukturnya, lipid dapat diklasifikasikan sebagai derivat, sederhana, atau kompleks. Perbedaan struktur ini berdasarkan cara isolasi dan asal mula biogenetik secara garis besar dari lipid.

#### 3.2.1.1 Lipid Sederhana

Lipid sederhana terdiri dari ester asam lemak dan komponen alkohol meliputi asilgliserol (gliserida), triasilgliserol (trigliserida), sterol, dan lilin. Secara umum, lipid sederhana dapat dihidrolisis menjadi dua komponen berbeda, biasanya alkohol dan asam. Lipid sederhana dikelompokkan menjadi dua yaitu lemak dan minyak serta lilin.

##### 1. Lemak dan Minyak

Lemak dan minyak merupakan ester antara asam lemak rantai panjang (asam monokarboksilat) dengan gliserol. Lemak merupakan lipid yang berbentuk padat pada suhu ruang sedangkan minyak merupakan lipid yang berbentuk cair pada suhu ruang. Pada struktur lemak dan minyak, molekul gliserol mengikat 3 (tiga) rantai asam lemak dan membentuk senyawa ester yang bersifat non-polar. Lemak dan minyak tidak membentuk struktur molekul yang panjang sebagaimana pada struktur polisakarida. Panjang struktur molekul lemak dan minyak tergantung pada jenis asam lemak yang terikat pada gliserol. Lemak dan minyak berbeda dari sifat fisiknya pada suhu ruang. Istilah "lemak" (*fat*) umumnya digunakan untuk ester gliserol berbentuk padat pada suhu ruang, sedangkan "minyak" untuk ester gliserol berbentuk cair pada suhu ruang. Perbedaan sifat fisik ini disebabkan oleh komposisi asam lemak penyusunnya. Lemak mengandung lebih banyak asam lemak jenuh, sedangkan minyak mengandung asam lemak tidak jenuh yang lebih banyak. Karena titik lemak tidak jenuh lebih tinggi dari lemak tidak jenuh, maka lemak cenderung

berbentuk padat. Sedangkan minyak berbentuk cair pada suhu ruang. Contoh lemak yang berbentuk padat: butter, margarin dan mentega, sedangkan contoh minyak: Minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai dan sebagainya. Sifat fisik lemak dan minyak dari sumber yang berbeda umumnya berbeda, karena adanya perbedaan dalam proporsi asam lemak penyusunnya dan struktur kimia dari masing-masing terigeliseridanya.



Gambar 127. Contoh Minyak (minyak kepala) dan Lemak (mentega & margarin).

##### 2. Lilin

Lilin merupakan ester asam lemak dengan alkohol monohidrat rantai panjang atau yang memiliki berat molekul besar sebagai pengganti gliserol dengan asam lemak rantai panjang. Lilin memiliki titik lebur yang tinggi dan berbeda dengan lilin parafin yang dihasilkan dari minyak bumi.

#### 3.2.1.2 Lipid Kompleks

Lipid kompleks merupakan ester asam lemak dengan asam lemak yang mengandung gugus lain selain alkohol atau lipida sederhana yang mengikat molekul-molekul selain lipid. Lipid kompleks termasuk glicerofosfolipid (fosfolipid), gliseroglikolipid (glikolipid), dan sfingolipid. Struktur ini menghasilkan tiga atau lebih senyawa berbeda pada proses hidrolisis. Selain itu, lipid kompleks juga meliputi sulfolipid, aminolipid dan lipoprotein.

### 1. Fosfolipid

Fosfolipid merupakan ester asam lemak dan alkohol yang mengandung asam fosfat sebagai pengganti satu molekul asam lemak, selain itu fosfolipid juga mengandung basa nitrogen. Yang termasuk kedalam golongan fosfolipid yaitu asam fosfatidat yang merupakan gliserida yang disusun oleh satu mol asam fosfor dan dua mol asam lemak serta lesitin (fosfatidil kolin) dan sefalin (fosfatidil etanol amin atau fosfatidil etanol serin).

### 2. Glikolipid

Glikosida merupakan campuran antara asam lemak dengan karbohidrat. Glikolipid mengandung nitrogen tapi tidak mengandung asam fosfat.

### 3. Sfingolipid

Sfingolipid merupakan lipid yang mengandung struktur spingosin. Yang termasuk kedalam golongan sfingolipid yaitu sfingomielin yang terdiri dari sfingosin, asam lemak, fosfat dan choline.

#### 3.2.1.3 Derivat Lipid

Derivat lipid mencakup senyawa-senyawa yang tidak termasuk ke dalam lipid sederhana dan kompleks. Derivat lipid merupakan zat yang diturunkan dari senyawa-senyawa golongan lipid sederhana dan kompleks dengan cara hidrolisa. Yang termasuk ke dalam derivat lipid yaitu:

1. Asam-asam lemak, seperti asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh
2. Alkohol, seperti alkohol rantai panjang atau alkohol siklik yang tidak larut dalam air (sterol dan vitamin A)
3. Hidrokarbon-hidrokarbon, seperti karotenoid
4. Vitamin-vitamin yang larut dalam lemak, seperti vitamin A, D, E, K

## 3.2.2 Klasifikasi Lipid Berdasarkan Polaritasnya

Komponen lipid juga dapat diklasifikasikan berdasarkan polaritasnya. Lipid berdasarkan polaritasnya dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu lipid non polar dan lipid polar. Klasifikasi lipid berdasarkan polaritasnya dapat berubah-ubah, karena beberapa asam lemak dengan rantai yang sangat pendek bersifat sangat polar. Sehingga lipid lebih disukai untuk diklasifikasikan berdasarkan strukturnya.

Lipid polar terdiri dari asam lemak, alkohol, gliserida, dan sterol, sedangkan lipid non polar terdiri dari gliserofosfolipid dan gliseroglikolipid.

### 3.2.2.1 Lipid Polar

Lipid polar umumnya mengandung kelompok "kepala" hidrofilik yang memiliki afinitas tinggi untuk air yang melekat pada kelompok "ekor" lipofilik yang memiliki afinitas tinggi untuk minyak. Kelompok lipid yang bersifat non polar adalah:

#### 1. Alkana dan Alkena

Lipid alkana dan alkena merupakan hidrokarbon yang tersusun atas lebih dari 36 atom C dan dapat bersifat jenuh atau tak jenuh.

#### 2. Lemak Alkohol

Lemak alkohol merupakan alkohol alifatik dengan rantai hidrokarbon jenuh atau tak jenuh yang memiliki panjang 6-26 atom C.

#### 3. Sterol

Sterol merupakan steroid tak jenuh yang dapat ditemukan pada tanaman dengan bentuk fitosterol dan pada hewan dalam bentuk kolesterol.

#### 4. Tokoferol

Tokoferol merupakan vitamin E yang umumnya ditemukan dalam sumber minyak.

## 5. Trigliserida

Trigliserida (triasgliserol) merupakan gliserida yang terbentuk dari esterifikasi di ketiga gugus hidroksil gliserol dengan asam lemak.

## 6. Lilin (ester dari asam lemak dan alkohol rantai panjang)

### 3.2.2.2 Lipid Non-Polar

Kelompok lipid non polar umumnya merupakan penyusun membran sel yang bersifat larut dalam air. Lipid non polar terdiri dari :

1. Fosfolipid (lipid yang berikatan dengan fosfat)
2. Glikolipid (lipid yang berikatan dengan molekul karbohidrat)

Proteolipid (lipid yang tersusun atas residu asam amino yang berikatan dengan asam atau alkohol rantai panjang).

## 3.3. Asam Lemak

Komponen utama dari lipid adalah asam lemak. Asam lemak merupakan senyawa yang mengandung rantai alifatik dengan asam karboksilat yang diperoleh dari hidrolisa ester, terutama dari gliserol dan kolesterol. Asam lemak memiliki rantai lurus, tidak bercabang dan tidak tersubstitusi walaupun substitusi -OH, sedangkan asam lemak yang berbentuk siklik dan bercabang jarang dijumpai.

Asam lemak dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok tergantung dari panjang rantai dan jumlah, posisi serta konfigurasi ikatan rangkap. Umumnya asam lemak dibedakan menjadi dua jenis kelompok, yaitu asam lemak jenuh yang rantainya mengandung ikatan rangkap serta asam lemak tak jenuh yang rantainya mengandung satu ikatan rangkap atau lebih.

Asam lemak yang terdapat di alam biasanya mengandung atom C genap karena proses biologis dimana adanya pemanjangan asam lemak dimana dua atom C ditambahkan pada satu waktu dan biasanya asam

lemak merupakan derivat berantai lurus dengan rantai atom C antara 4 sampai 28 dalam bentuk bebas atau ester dengan gliserol dan biasa ditemukan dalam lemak dan minyak. Asam lemak yang memiliki rantai atom C lebih dari 28 biasanya dijumpai dalam lilin (wax) dan asam lemak yang memiliki rantai pendek umumnya ditemukan pada minyak tropis dan lemak susu. Pengecualian pada asam lemak dengan jumlah atom C ganjil dan rantai bercabang dapat ditemukan pada sumber lipid seperti pada mikroorganisme dan lemak susu.

Semua asam lemak memiliki sifat fisik yang berbeda-beda sesuai dengan jumlah atom C nya. Asam lemak dengan atom C kurang dari 12 digolongkan sebagai asam lemak volatil sedangkan asam lemak dengan atom C lebih dari 10 mempunyai bentuk yang padat dalam suhu ruang. Semakin panjang rantai atom C yang dimiliki maka kelarutan asam lemak dalam air semakin kecil sehingga asam lemak dengan atom C lebih dari 10 bersifat tidak larut dalam air.

### 3.3.1 Tata Nama Asam Lemak

Tata nama yang digunakan pada asam lemak yaitu tata nama sistematis yang sesuai dengan terminologi IUPAC (*The International Union of Pure and Applied Chemist*) dimana asam lemak dinamai sesuai dengan jumlah karbon dari hidrokarbon yang dikandungnya.

Untuk asam lemak jenuh namanya diakhiri dengan -anoat karena asam lemak jenuh mengandung gugus asam karboksilat, sedangkan untuk asam lemak tak jenuh namanya diakhiri dengan -enoat dimana huruf 'a' ada anoat diubah menjadi huruf 'e' menjadi enoat untuk menunjukkan adanya ikatan rangkap pada asam lemak tersebut. Misalnya, asam lemak jenuh dengan jumlah atom karbon 18 disebut dengan oktadekanoat berdasarkan nama rantai hidrokarbon dengan jumlah atom karbon 18, yaitu oktadekana, dan seterusnya.

Ikatan rangkap dapat diberi nama dengan konfigurasi  $\Delta$  yang menunjukkan jarak dari karboksil karbon, dengan nama karbon

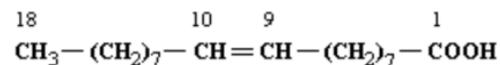
karboksil nomor 1. Misalnya, ikatan rangkap yang berada di antara atom C ke-9 dan ke-10 dari gugus asam karboksilat adalah ikatan Δ9. Pemberian nomor ikatan rangkap ini diletakkan sebelum nama asam lemaknya, misalnya Δ9-Oktadesenoat yang bisa disebut juga dengan asam 9-Oksadesenoat.

Tabel 24. Sistematika Nama Rantai Hidrokarbon.

Jumlah Atom Karbon	Nama	Jumlah Atom Karbon	Nama
1	Metana	19	Nonadekana
2	Etana	20	Eikosana
3	Propana	21	Henikosana
4	Butana	22	Dokosana
5	Pentana	23	Trikosana
6	Heksana	24	Tetrakosana
7	Heptana	25	Pentakosana
8	Oktana	26	Heksakosana
9	Nonana	27	Heptakosana
10	Dekana	28	Oktakosana
11	Hendekana	29	Nonakosana
12	Dodekana	30	Triakontana
13	Tridekana	40	Tetrakontana
14	Tetradekana	50	Pentakontana
15	Pentadekana	60	Heksakontana
16	Heksadekana	70	Heptakontana
17	Heptadekana	80	Oktakontana
18	Oktadekana		

(Sumber : O'Keefe, 2002)

**1** Atom-atom karbon diberi nomer mulai dari atom karbon karboksil (diberi nomer 1), sedangkan atom-atom yang berdekatan dengan karbon karboksil (diberi nomer 2) dan seterusnya.



Gambar 128. Gambaran Penomeran Atom Karbon.

(Sumber: Apriyanto dan Rujian, 2017)

Sistem numerik dapat digunakan untuk nama asam lemak yang disingkat. Bilangan pertama dalam sistem ini menunjukkan jumlah karbon dalam asam lemak sedangkan bilangan kedua menunjukkan jumlah ikatan rangkap (misalnya, heksadekano : palmitat = 16:0). Jelas, angka kedua ini akan selalu nol untuk asam lemak jenuh karena tidak memiliki ikatan rangkap.

Beberapa asam lemak tertentu umumnya diberi nama yang jauh lebih umum daripada nama sistematik menurut standar IUPAC. Misalnya, asam oleat jauh lebih umum daripada asam *cis*-9-oktadekenoat. Banyak nama umum yang berasal dari sumber di mana asam lemak biasanya didapatkan atau diisolasi secara tradisional, misalnya asam palmitat dan minyak sawit serta asam miristat ditemukan dalam minyak biji dari famili *Myristicaceae*.

Simbol ω dapat digunakan pada asam lemak yang memiliki ikatan rangkap sebagai singkatan. Singkatan ω digunakan setelah jumlah atom C dalam rantai asam lemak yang diikuti oleh titik dua, kemudian ditambahkan nomor dimana jumlah ikatan rangkap dan posisi ikatan rangkap paling dekat dengan sisi metil dari molekul asam lemak tersebut. Misalnya asam oleat (9-Oktadesenoat) dapat disingkat sebagai 18:1ω9 dimana 18 merupakan jumlah atom C pada rantai molekul asam oleat, 1 merupakan jumlah ikatan rangkap dan 9 merupakan posisi ikatan rangkap paling dekat dengan sisi metil dari molekul asam oleat.

Singkatan untuk asam lemak tak jenuh ganda kadang-kadang dituliskan tanpa simbol ω, misalnya 18:3. Namun singkatan dalam bentuk seperti ini membingungkan, karena 18:3 dapat mewakili 18:3ω1, 18:3ω3, 18:3ω6 atau 18:3ω9 dimana ke empat asam lemak tersebut sangat berbeda dalam asal-usul dan kandungan nutrisinya.

Dua atau lebih asam lemak dengan karbon yang sama dan bilangan ikatan rangkap dimungkinkan dalam banyak minyak biasa. Oleh karena itu, simbol  $\omega$  harus selalu digunakan dengan simbol  $n$  yang ditentukan.

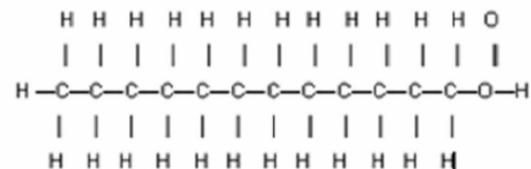
### 3.3.2 Asam Lemak Jenuh

Asam lemak paling sederhana tidak bercabang, rantai linier gugus  $\text{CH}_2$  dihubungkan oleh ikatan tunggal karbon-karbon dengan satu gugus asam karboksilat terminal. Istilah jenuh menunjukkan bahwa jumlah maksimum atom hidrogen yang mungkin terikat pada setiap karbon dalam molekul. Banyak asam lemak jenuh memiliki nama yang biasa saja dan juga nama sistematis yang deskriptif secara kimiawi. Nama sistematis didasarkan pada penomoran atom karbon, dimulai dengan karbon asam.

Asam lemak jenuh merupakan molekul asam lemak yang memiliki rantai lurus dan tidak bercabang yang dominannya memiliki atom karbon genap. Asam lemak jenuh dimulai dengan asam metanoat (asam format), namun asam metanoat, etanoat, dan propanoat jarang ditemukan dalam lemak alami dan sering diabaikan dalam definisi lipid dan ketiganya ditemukan dalam bentuk tidak teresterifikasi di banyak produk pangan. Asam lemak dengan jumlah atom karbon genap antara lain adalah asam butirrat, kaproat, kaprilat, laurat, miristat, palmitat, stearat, arakhidat, dan lainnya.

Asam lemak jenuh rantai pendek dengan berat molekul rendah yaitu dibawah 14, merupakan unsur trigliserida yang biasanya hanya terdapat dalam lemak dan minyak susu, kelapa, dan biji kelapa sawit. Dalam bentuk bebas atau teresterifikasi dengan alkohol yang memiliki berat molekul rendah, asam lemak jenuh rantai pendek terdapat di alam hanya dalam jumlah yang sedikit, terutama pada bahan pangan nabati dan produk pangan yang diproses dengan bantuan mikroorganisme, di mana asam lemak jenuh rantai pendek merupakan komponen aroma.

#### Saturated Fatty Acid (SFA = Asam Lemak Jenuh)



Gambar 129. Struktur Kimia Asam Lemak Jenuh (*Saturated Fatty Acid*)

Asam lemak jenuh yang paling banyak ditemukan dalam bahan pangan yaitu asam palmitat, dimana asam palmitat terdapat sekitar 15-50% dari seluruh asam-asam lemak yang ada. Selain itu asam stearat terdapat dalam konsentrasi tinggi pada lemak biji-bijian tanaman tropis dan pada lemak cadangan beberapa hewan darat, yaitu sekitar 25% dari asam-asam lemak yang ada.

Asam lemak dengan jumlah atom karbon ganjil antara lain adalah asam valerat dengan atom karbon 5 dan asam enanthat dengan atom karbon 7. Terdapat asam pentadekanoat (15:0) dan heptadekanoat (17:0) yang merupakan asam lemak ganjil yang terdapat dalam susu dan sejumlah minyak nabati. Asam heptadekanoat atau asam margarat merupakan campuran dari asam palmitat dan asam stearat.

Selain itu terdapat asam lemak jenuh dengan rantai bercabang seperti iso- atau anteiso-, tetapi sangat jarang ditemukan dalam bahan pangan. Beberapa asam lemak jenuh dengan rantai bercabang yaitu asam pristanat dan fitanat yang terdapat pada lemak susu. Keduanya merupakan asam isoprenoid yang diperoleh dari degradasi rantai samping fitol klorofil.

Tabel 25. Asam Lemak Jenuh

A. Asam Lemak Jenuh Rantai Lurus				
Jumlah atom C	Nama Umum	Nama Sistematis	Rumus molekul	Sumber
4	Butirat	Butanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{COOH}$	Lemak mentega

5	Valerat	Pentanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH}$	Tumbuhan <i>Valeriana officinalis</i>
6	Kaproat	Heksanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$	Mentega, kelapa, dan minyak palm
7	Enanthat	Heptanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{COOH}$	Minyak biji jarak yang dihidrolisis dan dioksidasi
8	Kaprilat	Oktanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$	Minyak kelapa, minyak palm, dan mentega
9	Pelargonat	Nonanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Tanaman Pelargonium
10	Kaprat	Dekanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_8-\text{COOH}$	Minyak kelapa, minyak palm, dan mentega
12	Laurat	Dodekanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COOH}$	Minyak kelapa, minyak palm, dan mentega
14	Miristat	Tetradekanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{COOH}$	Minyak kelapa, minyak palm, lemak hewani dan nabati tertentu
15	-	Pentadekanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{13}-\text{COOH}$	Susu dan sejumlah lemak nabati
16	Palmitat	Heksadekanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$	Hampir semua lemak nabati dan hewani
17	Margarat	Heptadekanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{15}-\text{COOH}$	Susu dan sejumlah lemak nabati
18	Stearat	Oktadekanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$	Lemak hewani dan komponen lemak nabati
20	Arakhidat	Eikosanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{18}-\text{COOH}$	Minyak kacang tanah

22	Behenat	Dokosanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{20}-\text{COOH}$	Minyak mustar, minyak lobak, dan minyak kacang tanah
24	Lignoserat	Tetrakosanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{22}-\text{COOH}$	Lemak dan terdapat dalam jumlah kecil pada minyak kacang tanah
26	Asam serotat	Heksakosanoat	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{24}-\text{COOH}$	Lemak wool

#### B. Asam Lemak Jenuh Rantai Cabang

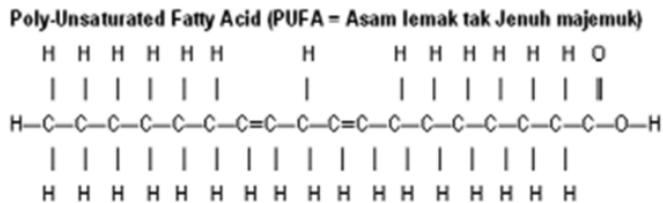
Jumlah atom C	Nama Umum	Nama Sistematis	Rumus molekul	Sumber
5	Isovalerat	3 - m e t i l -butanoat	$(\text{CH}_3)_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	Lemak ikan lumba-lumba dan ikan porpoise
15	Isopentadekanoat	1 3 - m e t i l -tetradekanoat	$(\text{CH}_3)_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	Mentega
19	Pristanat	2,6,10,14-Tetram e t i l -pentadekanoat	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	Lemak susu, paus, dan mentega
20	Fitanat	3,7,11,15-Tetram e t i l -heksadekanoat	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	Lemak susu, hewan dan ikan tertentu

#### Asam Lemak Tak jenuh

Asam lemak tak jenuh memiliki satu atau lebih ikatan rangkap karbon. Istilah tak jenuh menunjukkan bahwa kurang dari jumlah maksimum atom hidrogen yang terikat pada setiap karbon dalam molekul. Jumlah ikatan rangkap ditunjukkan dengan nama generik tak jenuh tunggal untuk molekul dengan satu ikatan rangkap atau tak jenuh ganda untuk molekul dengan dua atau lebih ikatan rangkap.

Asam lemak tak jenuh banyak ditemukan dalam minyak yang

diperoleh dari bahan pangan nabati. Asam lemak tak jenuh umumnya berupa lemak rantai lurus dengan jumlah atom C antara 10-24. Asam lemak tak jenuh tunggal yang paling umum yaitu asam oleat, dan letak ikatan rangkap yang paling umum untuk asam lemak tak jenuh tunggal yaitu pada atom C-9.



Gambar 130. Struktur Kimia Asam Lemak Tidak Jenuh.

Asam lemak yang mempunyai dua ikatan rangkap atau yang biasa disebut dengan asam lemak tak jenuh tinggi (*polyunsaturated fatty acid* / PUFA). Seperti asam linoleat, asam linolenat dan asam arakhidonat yang merupakan asam lemak esensial dan dari ketiga asam lemak tersebut yang paling penting merupakan asam linoleat. Asam lemak esensial tidak dapat disintesis dalam tubuh dengan cepat, sehingga harus didapatkan dari makanan yang dikonsumsi.

Ikatan rangkap dalam asam lemak tak jenuh ganda atau yang lebih besar dari dua ikatan rangkap paling sering terdapat dalam sistem pentadiena. Dalam sistem pentadiena, dua ikatan rangkap akan berada pada karbon 1 dan 4. Dengan kata lain, ikatan rangkap tidak terkonjugasi tetapi dipisahkan oleh karbon terputus oleh metilen. Ini berarti bahwa ikatan rangkap dari kebanyakan asam lemak tak jenuh terpisah tiga karbon (misalnya, 9, 12, 15 oktadekatrienoat). Oleh karena itu, sangat mungkin untuk memprediksi posisi semua ikatan rangkap dalam kebanyakan asam lemak tak jenuh alami jika lokasi ikatan rangkap pertama diketahui. Inilah mengapa sistem singkatan numerik terkadang hanya memberikan jumlah ikatan rangkap dan posisi ikatan

rangkap pertama.

Tabel 3.3. Asam Lemak Tak jenuh

A. Asam Monoetanoat (1 Ikatan Rangkap)				
Jumlah atom C	Nama Umum	Nama Sistematis	Rumus molekul	Sumber
10	Kaproleat	9-Desenoat	$C_9H_{17}-COOH$	Lemak susu
12	Lauroleat	9-Dodesenoat	$C_{11}H_{21}-COOH$	Lemak susu
14	Miristoleat	9-Tetradeseoat	$C_{13}H_{25}-COOH$	Lemak hewani, susu
	Fiseterik	5-Tetradeseoat	$C_{13}H_{25}-COOH$	Minyak sardin, lumba-lumba
16	Palmitoleat	9-Heksadesenoat	$C_{15}H_{29}-COOH$	Minyak hewan laut
18	Oleat	<i>cis</i> -9-Oktadesenoat	$C_{17}H_{33}-COOH$	Lemak hewani dan nabati
	Elaidat	<i>trans</i> -9-Oktadesenoat	$C_{17}H_{33}-COOH$	Lemak hewani
	Petraselenat	6-Oktadesenoat	$C_{17}H_{33}-COOH$	Minyak biji peterseli dan minyak biji koriander
18	Vassernat	<i>trans</i> -11-Oktadesenoat	$C_{17}H_{33}-COOH$	
	Vassernat	12-Oktadesenoat	$C_{17}H_{33}-COOH$	
20	Gadoleat	<i>cis</i> -9-Eikosenoat	$C_{18}H_{37}-COOH$	Minyak ikan dan hewan laut
	Gondoat	<i>cis</i> -11-Eikosenoat	$C_{18}H_{37}-COOH$	Minyak kacang dan minyak biji-bijian

22	Setoleat	11-Dokosenoat	$C_{21}H_{41}-COOH$	Minyak hewan laut
	Erusat	13-Dokosenoat	$C_{21}H_{41}-COOH$	Minyak lobak dan minyak mustar
24	Salakoleat	15-Tetrkosenoat	$C_{23}H_{45}-COOH$	Minyak hati ikan dan minyak hewan laut

#### B. Asam Dietanoat (2 Ikatan Rangkap)

Jumlah atom C	Nama Umum	Nama Sistematis	Rumus molekul	Sumber
18	Linoleat	9,12-Oktadekadienoat	$C_{17}H_{31}-COOH$	Minyak kacang, minyak biji rami dan minyak biji kapas

#### C. Asam Trietanoat (3 Ikatan Rangkap)

Jumlah atom C	Nama Umum	Nama Sistematis	Rumus molekul	Sumber
18	Linolenat	9,12,15-Oktadekatrienoat	$C_{17}H_{29}-COOH$	Minyak biji rami dan minyak biji-bijian
	Oleostearat	9,11,13-Oktadekatrienoat	$C_{17}H_{29}-COOH$	Lemak biji kacang

#### D. Asam Tetraetanoat (4 Ikatan Rangkap)

Jumlah atom C	Nama Umum	Nama Sistematis	Rumus molekul	Sumber
18	Morostat	4,8,12,15-Oktadekatetraenoat	$C_{17}H_{27}-COOH$	Minyak ikan

20	Arakhidonat	5,8,11,15-Eikosatetraenoat	$C_{19}H_{31}-COOH$	Lemak hewani
----	-------------	----------------------------	---------------------	--------------

#### E. Asam Polietanoat (Banyak Ikatan Rangkap)

Jumlah atom C	Nama Umum	Nama Sistematis	Rumus molekul	Sumber
20	EPA	5,8,11,14,17-Eikosapentanoat	$C_{19}H_{29}-COOH$	Minyak ikan, ASI
22	Klupano donat	4,8,12,15,19-Dokosapentaenoat	$C_{21}H_{33}-COOH$	Minyak ikan
	DPA	7,10,13,16,19-Dokosapentaenoat	$C_{21}H_{33}-COOH$	Minyak ikan, ikan dan daging, ASI
	DHA	4,7,10,13,16,19-Dokosaheksaenoat	$C_{21}H_{31}-COOH$	ASI, minyak ikan, minyak alga
24	Nisinat	4,8,12,15,18,21-Tetrakosaheksenoat	$C_{23}H_{35}-COOH$	Minyak ikan sardin dan minyak ikan lainnya

#### Asam lemak tak jenuh ganda "trans"

Asam lemak tak jenuh ganda trans meskipun tidak diproduksi secara biosintesis oleh mamalia, namun diproduksi oleh mikroorganisme dalam usus hewan ruminansia seperti sapi dan kambing. Selain itu juga diproduksi secara sintesis melalui hidrogenasi parsial lemak dan minyak dalam pembuatan margarin. Terdapat bukti bahwa konsumsi lemak trans dapat memiliki efek metabolik yang merusak tubuh.

Lemak trans juga disebut asam lemak trans atau lemak terhidrogenasi parsial merupakan lemak yang dihasilkan dari proses industri hidrogenasi, dimana molekul hidrogen ( $H_2$ ) ditambahkan ke minyak nabati sehingga mengubah lemak cair menjadi lemak semi padat.



Gambar 131. Paul Sabatier (1890) Penemu katalis logam yang dapat digunakan untuk mengendapkan reaksi hidrogenasi.

Sintesis senyawa terhidrogenasi dimulai pada tahun 1890-an, ketika kimiawan Prancis Paul Sabatier menemukan bahwa katalis logam dapat digunakan untuk mengendapkan reaksi hidrogenasi. Untuk penemuannya tentang katalis tersebut, Paul Sabatier mendapatkan hadiah Nobel bidang kimia pada tahun 1912 bersama dengan ahli kimia Prancis Victor Grignard. Pada tahun 1901, ahli kimia Jerman Wilhelm Normann bereksperimen dengan katalis hidrogenasi dan berhasil menginduksi hidrogenasi lemak cair menghasilkan lemak semipadat yang kemudian dikenal sebagai "lemak trans". Patennya diterima Normann pada tahun 1903 yang diadopsi oleh produsen makanan. Produk yang mengandung lemak tak jenuh rentan menjadi tengik saat terpapar udara, sehingga umur simpannya pendek. Oleh karena itu, bentuk lemak tak jenuh yang stabil berpotensi memperpanjang umur simpan dan nilai berbagai makanan secara signifikan. Produk makanan pertama yang dikembangkan yang mengandung lemak trans adalah shortening sayuran Crisco, yang diperkenalkan pada tahun 1911 oleh Procter & Gamble Company.

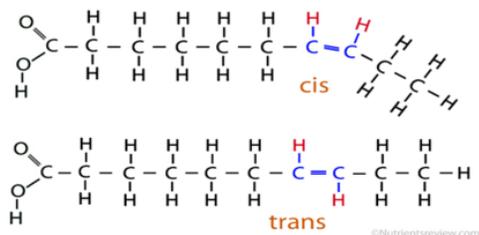


Gambar 131. Ahli kimia Jerman Wilhelm Normann (1905) merupakan Ilmuwan Pertama yang meneliti "Lemak Trans".

Hidrogenasi sangat penting terutama dalam produksi margarin yang digunakan sebagai pengganti mentega karena mentega dijajah selama Perang Dunia II. Dalam dekade berikutnya, penggunaan hidrogenasi untuk menstabilkan masa simpan produk makanan berkembang pesat. Pada 1980-an banyak produsen makanan dan restoran berhenti menggunakan lemak dari babi. Solusinya mengganti lemak ini dengan produk berbasis lemak trans yang memiliki titik asap sama dan dianggap lebih sehat.

Lemak cair seperti minyak nabati terdiri dari molekul asam lemak tak jenuh. Lemak tak jenuh mengandung rantai hidrokarbon yang dihubungkan oleh satu atau lebih ikatan rangkap. Rantai hidrokarbon terletak pada bidang molekul sama yang membentuk konfigurasi cis. Setelah hidrogenasi, lemak tak jenuh diubah menjadi konfigurasi berbeda yang ditandai dengan satu putaran di tengah molekul. Keadaan ini menempatkan rantai hidrokarbon yang dihubungkan oleh ikatan rangkap di bidang yang berlawanan dan dengan demikian molekul tersebut digambarkan memiliki konfigurasi trans. Molekul lemak trans berbentuk linier dan dengan pengecualian lilitan di tengah. Struktur ini menyerupai bentuk linier dari lemak jenuh. Melalui hidrogenasi, konsistensi cairan dari lemak tak jenuh diubah menjadi bentuk padat-lunak yang umumnya lebih lentur dibandingkan dengan konsistensi padat-keras pada lemak jenuh.

## Cis- and Trans-Fatty Acids



Gambar 132. Struktur Kimia Asam Lemak Cis dan Trans.

Lemak trans terjadi makanan yang diproduksi diantaranya margarin, keripik kentang, pizza, dan kerupuk. Makanan yang dipanggang seperti kulit pai, biskuit, dan donat mengandung lemak trans karena menggunakan *shortening*. Lemak ini juga ditemukan pada makanan yang digoreng, seperti kentang goreng dan ayam goreng. Di beberapa negara, label nutrisi pada produk makanan kemasan menunjukkan jumlah lemak trans yang terkandung dalam satu porsi. Selain itu, makanan kemasan biasanya berisi daftar bahan-bahan. Jika “minyak terhidrogenasi parsial”, maka makanan tersebut mengandung lemak trans.

Meskipun lemak trans tidak disintesis oleh hewan, beberapa mikroorganisme yang terdapat dalam usus ruminansia dapat mensintesis lemak trans melalui proses biohidrogenasi. Lemak trans yang dihasilkan mikroorganisme ini ditemukan dalam produk susu, seperti keju dan lemak mentega, dan pada jenis daging tertentu, termasuk daging domba dan sapi.



Gambar 133. Margarin merupakan salah satu produk pangan yang mengandung asam lemak tidak jenuh “trans”.

Pada awal tahun 2000-an, badan kesehatan di berbagai negara di seluruh dunia menyadari perlunya memperkenalkan peraturan yang mengatur jumlah lemak trans yang digunakan pada industri pangan. Negara-negara seperti Denmark (2003) dan Swiss (2008), serta kota-kota lainnya, misalnya New York (2006) & Calgary (2008) dan pemerintah daerah, misalnya California (2008) telah memberlakukan larangan lemak trans yang hanya mengizinkan sangat kecil jumlah lemak trans dalam makanan tertentu dan melarang penggunaan hampir semua produk yang mengandung lemak trans di restoran. Banyak restoran secara sukarela menghentikan penggunaan produk lemak trans. Misalnya, sejumlah restoran cepat saji, termasuk Kentucky Fried Chicken, Taco Bell, Wendy’s, dan McDonald’s tidak lagi memasak dengan produk yang mengandung lemak trans.

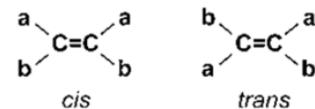
Produsen produk makanan yang dijual di negara-negara seperti Amerika Serikat dan Kanada diharuskan mencantumkan lemak trans pada kemasannya. Selain itu, lemak trans yang terkandung dalam suplemen makanan yang diproduksi dan dijual di Amerika Serikat harus mencantulkannya pada kemasan produk jika lemak tersebut terdapat dalam jumlah yang melebihi 0,5 gram per porsi. Sebuah produk makanan di Amerika Serikat dinyatakan “bebas lemak trans”

hanya jika kandungan lemak transnya di bawah 0,5 gram per porsi. Di Kanada kandungan lemak trans harus di bawah 0,2 gram per porsi untuk mendapatkan pelabelan ini. Pedoman nutrisi American Heart Association menunjukkan bahwa berdasarkan diet 2.000 kalori per hari, hanya 20 kalori dari lemak trans yang harus dikonsumsi per hari. Hal ini berarti rata-rata 2 gram lemak trans per hari untuk orang dewasa, karena diduga banyak orang mengonsumsi jumlah lemak trans ini dalam bentuk alami pada daging dan produk susu. Ahli medis menganjurkan agar orang tidak mengonsumsi produk manufaktur yang mengandung lemak trans. Lemak trans yang ditemukan secara alami dalam daging dan produk susu belum dikaitkan dengan penyakit jantung.

Perusahaan manufaktur makanan dan ilmuwan pertanian telah menghasilkan beberapa minyak yang berfungsi sebagai alternatif produk lemak trans. Metode pemuliaan tanaman tradisional, serta pembangkitan organisme hasil rekayasa genetika (GM) telah menghasilkan tanaman yang mampu menghasilkan minyak dengan sifat yang mirip dengan produk lemak trans tetapi tidak menimbulkan risiko berbahaya bagi kesehatan. Minyak yang rendah asam linolenat adalah alternatif lemak trans yang paling banyak digunakan. Bahan ini stabil secara termal dan cocok digunakan untuk menggoreng. Tanaman yang digunakan untuk menghasilkan minyak asam linolenat rendah termasuk kedelai dan bunga matahari. Bunga matahari direkayasa sedemikian rupa sehingga tidak hanya menurunkan produksi asam linolenat tetapi juga meningkatkan produksi asam oleat, merupakan senyawa yang mencegah oksidasi minyak nabati. Minyak alternatif berasal dari bunga matahari yang mengandung asam linolenat rendah/asam oleat tinggi ini terbukti stabil dalam hal penyimpanan dan rasa.

### 3.3.3 Isomerisasi Asam Lemak

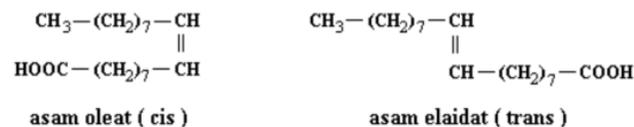
Isomerisasi geometrik asam lemak bergantung pada orientasi atom atau gugus sekitar poros ikatan rangkap. Apabila radikal-radikal sekitar poros terletak pada sisi yang sama maka disebut dengan *cis*, sedangkan apabila terletak pada sisi yang bersebrangan atau berlawanan maka disebut dengan *trans*. Istilah ini digunakan untuk menggambarkan posisi atom atau gugus yang terikat ke ikatan rangkap dan juga dapat digunakan untuk menunjukkan posisi relatif dalam struktur cincin. Awalan *cis* dan *trans* dapat disingkat c dan t dalam rumus struktur.



Gambar 134. Contoh Awalan *Cis* dan *Trans*.

(Sumber : O'Keefe, 2002)

Isomerisasi *cis* dan *trans* ini terdapat pada beberapa asam lemak, misalnya pada asam oleat (*cis*) dan asam elaidat (*trans*) serta pada asam maleat (*cis*) dan asam fumarat (*trans*).

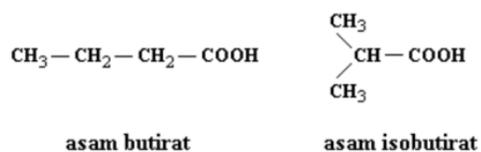


Gambar 135. Perbedaan Struktur Asam Lemak *cis* dan *trans*.

(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

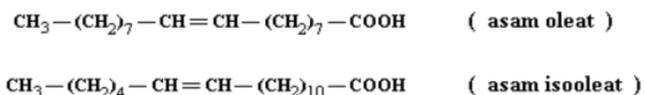
Asam lemak tak jenuh biasanya terdapat dalam bentuk *cis*, karena itu molekul asam lemak akan bengkok pada ikatan rangkapnya walaupun ada juga asam lemak tak jenuh yang terdapat dalam bentuk *trans*. Tata nama dari asam lemak dalam bentuk *trans* hanya berbeda dari asam lemak *cis* normal dalam konfigurasi ikatan rangkapnya. Umumnya asam lemak *trans* terdapat dalam bahan pangan sebagai hasil dari proses hidrogenasi karena panas atau karena adanya katalis lain.

Isomerisasi pada asam lemak umumnya disebabkan oleh bentuk geometri dari asam lemak, tetapi dapat juga disebabkan karena susunan rantai asam lemak, posisi ikatan rangkap serta. **Isomerisasi yang disebabkan oleh susunan atom C pada asam lemak yaitu memiliki susunan rantai lurus atau bercabang. Misalnya pada asam butirat dan asam isobutirat.**



Gambar 136. Perbedaan Struktur Asam Butirat dan Asam Isobutirat.  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Sedangkan isomerisasi yang disebabkan oleh posisi ikatan rangkap pada asam lemak, dan biasanya terjadi pada asam lemak tak jenuh. **Misalnya pada asam oleat dan isooleat.**

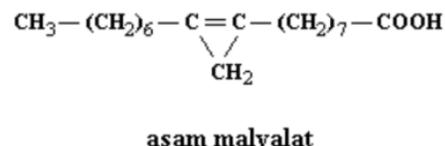


Gambar 137. Perbedaan Struktur Asam Oleat dan Asam Isooleat.  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

### 3.3.4 Asam Lemak Siklik

Asam lemak siklik merupakan asam lemak yang mengandung cincin karbon siklik didalamnya dan hanya terdapat sedikit di alam. Struktur cincin mengandung tiga atom C (siklopropil dan siklopropenil), lima atom C (siklopentenil), atau enam atom C (sikloheksenil) dan dapat berbentuk asam lemak jenuh atau tak jenuh serta dalam bentuk *cis* atau *trans*. Asam lemak siklopropena dan siklopropana dapat diberi nama dengan menggunakan nomenklatur standar dan umumnya diberi nama menggunakan struktur induk yang menempel dengan struktur cincin siklik.

Contoh asam lemak siklik salah satunya adalah asam malvalat. Asam malvalat dapat ditemukan dalam minyak biji kapas dan minyak lain yang diperoleh dari tanaman *malvalaceae*. Asam malvalat mempunyai gugus siklopropenil yang memiliki rantai tertutup dan berada di tengah-tengah dari rantai molekul asam lemak tersebut.



Gambar 138. Struktur Asam Malvalat.  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

### 3.3.5 Asam Lemak Bercabang

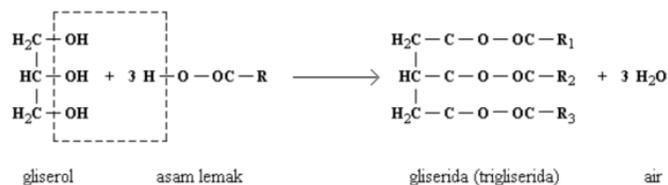
Asam lemak bercabang dapat dinamai menurut aturan percabangan pada hidrokarbon. **Biasanya gugus cabangnya berupa metil, misalnya isovalerat atau 3-metil butirat.** Selain nomenklatur standar, beberapa istilah umum pada asam lemak bercabang telah dipertahankan, termasuk iso- dengan cabang metil pada atom C kedua dari belakang ( $\omega$ 2), dan anteiso- dengan cabang metil pada atom C ketiga dari belakang ( $\omega$ 3). Asam lemak iso- dan anteiso- diperkirakan berasal dari hasil modifikasi

biosintesis *de novo* normal, dimana gugus asetat dari masing-masing asam lemak diganti dengan 2-metil propanoat atau 2-metilbutanoat.

Asam lemak bercabang umumnya dapat ditemukan dalam minyak lumba-lumba, porpoise, lemak domba, wool, mentega dan beberapa lipid dalam bakteri. Asam lemak bercabang lainnya yang berasal dari hasil biosintesis isoprenoid yaitu asam pristanat (2,6,10,14-tetra-metil-pentadekanoat) dan asam fitanat (3,7,11,15- tetra-metil-heksa-dekanoat).

### 3.4. Asilgliserol (Gliserida)

Gliserida merupakan komponen utama dalam minyak dan lemak. Gliserida merupakan ester antara gliserol (alkohol) dan asam lemak. Lebih dari 99% asam lemak yang ditemukan pada tumbuhan dan hewan diesterifikasi menjadi gliserol. Asam lemak bebas jarang ditemukan pada jaringan hidup karena bersifat sitotoksik dimana dapat mengganggu kerja dari membran sel. Gliserol dapat diesterifikasi dengan satu, dua, atau tiga asam lemak dan asam lemak individu dapat ditemukan pada atom C gliserol yang berbeda.

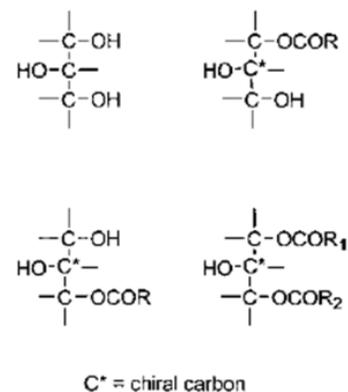


Gambar 139. Reaksi Esterifikasi Trigliserida.  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah)

Gliserida terdapat dalam bentuk mono-, di- dan tri- yang menurut terminologi standar dari IUPAC masing-masing dikenal sebagai monogliserida, digliserida dan trigliserida, sedangkan menurut terminologi standari dari IUB (*International Union of Biochemistry*) masing-masing

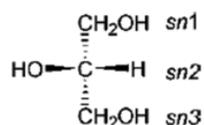
dikenal sebagai monoasilgliserol, diasilgliserol, dan triasilgliserol. Triasilgliserol atau trigliserida merupakan yang paling umum dari ketiganya dalam bahan dan produk pangan, meskipun monoasilgliserida dan diasilgliserida kadang-kadang digunakan sebagai bahan tambahan pangan, misalnya sebagai pengemulsi.

Asam lemak dapat diesterifikasi pada gugus hidroksil primer atau sekunder dari gliserol. Meskipun gliserol sendiri tidak memiliki atom karbon kiral (pusat), atom C tersebut dapat menjadi kiral jika asam lemak yang berbeda diesterifikasi ke hidroksil primer atau jika salah satu hidroksil primer diesterifikasi. Jadi, terminologi harus membedakan antara dua kemungkinan konfigurasi dari gliserol.



Gambar 140. Atom C Kiral pada Asilgliserol (Gliserida)  
(Sumber : O'Keefe, 2002)

Konvensi yang paling umum untuk membedakan stereoisomer ini adalah konvensi *sn* (*Stereospecific Number* atau penomoran stereospesifik) dari Hirshmann. Karbon pusat dari trigliserida menunjukkan kiralitas jika asam lemak yang berbeda hadir di karbon terminal gliserol. Oleh karena itu, tiga karbon pada bagian gliserol dari trigliserida dapat dibedakan dengan penomoran stereospesifik.



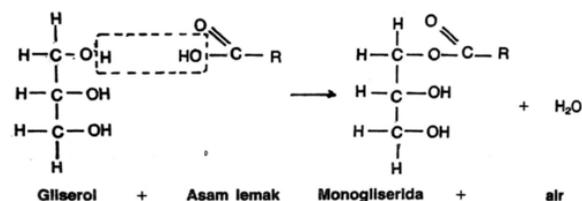
Gambar 141. Penomoran Stereospesifik (*sn*) pada Trigliserida  
(Sumber : O'Keefe, 2002)

Dalam penomoran yang menggam barkan gugus hidroksil pada molekul gliserol dalam proyeksi Fisher, digunakan sebutan *sn1*, *sn2*, dan *sn3* untuk gugus OH atas (C1), tengah (C2), dan bawah (C3). Istilah *sn* menunjukkan penomoran stereospesifik.

### 3.4.1 Monoasilgliserol (Monogliserida) dan Diasilgliserol (Digliserida)

Monogliserida merupakan gliserida dengan satu molekul gliserol yang telah membentuk satu ikatan ester dengan satu molekul asam lemak. Bagian molekul gliserol yang tidak teresterifikasi bersifat larut dalam air, sedangkan dengan berikatan dengan asam lemak membuat monogliserida dapat mengikat lemak. Istilah resmi digunakan untuk monogliserida adalah monoasilgliserol. Monogliserida umumnya dikenal sebagai emulsifier dalam industri pangan, farmasi, dan kosmetik. Monogliserida dapat diproduksi dari minyak dan salah satunya adalah minyak sawit.

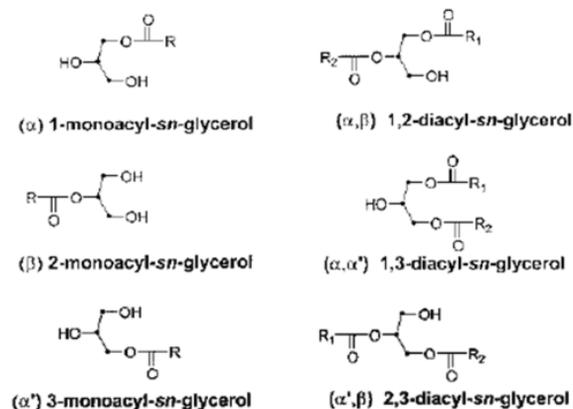
Reaksi esterifikasi satu molekul asam lemak dengan satu molekul gliserol menghasilkan satu molekul monogliserida dan satu molekul air. Reaksi esterifikasi dapat dipercepat dengan katalis asam/basa dan pemanasan dengan suhu sekitar 210-230 °C.



Gambar 142. Reaksi Pembentukan Monogliserida  
(Sumber : Winarno, 1992)

Pada suhu rendah, hanya sekitar 5-8% monogliserida dapat terbentuk sedangkan pada suhu tinggi monogliserida yang terbentuk dapat mencapai hingga 30%. Monogliserida merupakan bentuk intermediet yang terjadi selama proses alkoholisis lemak atau pemecahan lemak (*fat splitting*).

Diasilgliserol merupakan gliserida dengan dua molekul asam lemak yang membentuk ikatan ester dengan asam lemak, dimana karbon ketiga dari gliserol terikat dengan zat yang lebih polar atau tetap mempunyai hidroksil atau gugus alkil. Digliserida terdapat dalam minyak biji-bijian dalam konsentrasi yang kecil sekitar 1-6%, kecuali pada minyak biji kapas yang kandungannya dapat mencapai 10%.



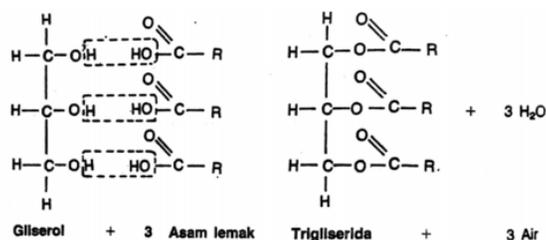
Gambar 143. Beberapa Struktur Molekul Mono- dan Digliserida  
(Sumber : O'Keefe, 2002)

Pemberian nama pada monogliserida dan digliserida ditentukan oleh jumlah, jenis, dan posisi asam lemak yang terikat pada gliserol. Jumlah asam lemak yang terikat satu atau dua diberi awalan mono- atau di-. Pada monogliserida, asam lemak dapat terikat pada atom C1, C2, atau C3, sedangkan pada digliserida, posisi asam lemak dapat pada posisi atom C1 dan C2 atau C1 dan C3. Sebagai contoh, monogliserida yang disusun oleh asam stearat yang terikat pada posisi C1 dari gliserin yang kemudian diberi nama 1-monostearin, sedangkan digliserida yang disusun oleh dua asam stearat yang terikat pada posisi C1 dan C3 diberi nama 1,3-distearin.

Dalam nomenklatur umum, ester diberi simbol  $\alpha$ - pada gugus OH primer dan  $\beta$ - pada gugus OH sekunder. Jika terdapat dua asam lemak ikatan primer, karbon primer disebut  $\alpha$  dan  $\alpha'$ . Apabila terdapat satu atau dua gugus asil, istilah 'gliserida parsial' terkadang digunakan.

### 3.4.2 Triasilgliserol (Trigliserida)

Triasilgliserol merupakan gliserida dimana gliserol diesterifikasi dengan 3 asam lemak. Trigliserida terdapat pada minyak sayur dan lemak hewan. Trigliserida dapat merupakan 95%-98% dari seluruh bentuk lemak dikonsumsi pada semua bentuk makanan dan persentasenya sama dengan dalam tubuh manusia. Asam oleat merupakan asam lemak tidak jenuh yang banyak terdapat pada trigliserida. Reaksi esterifikasi tiga molekul asam lemak dengan satu molekul gliserol menghasilkan satu molekul trigliserida dan tiga molekul air.



Gambar 144. Reaksi Pembentukan Trigliserida  
(Sumber : Winarno, 1992)

Apabila gliserol berikatan dengan satu jenis asam lemak yang sama akan terbentuk trigliserida sederhana, namun hal ini biasanya jarang terjadi. Apabila ketiga asam lemak memiliki jenis yang berbeda atau dua asam lemak sama dan satu berbeda, disebut dengan trigliserida campuran. Dalam lemak nabati, biasanya asam lemak jenuh terdapat pada urutan pertama. Susunan asam lemak pada trigliserida yang paling umum adalah J-T-J dan J-T-T (T : asam lemak tak jenuh; J : asam lemak jenuh).

Trigliserida dapat diberi nama dengan beberapa sistem yang berbeda, tetapi sering kali diberi nama menggunakan nama umum dari asam lemak. Jika trigliserida hanya mengandung satu jenis asam lemak, misalnya asam stearat yang disingkat dengan huruf St dapat diberi nama tristearin, asam palmitat yang disingkat dengan huruf P dapat diberi nama tripalmitin dan asam oleat yang disingkat dengan huruf O dapat diberi nama triolein.

Tabel 3.5. Singkatan Untuk Beberapa Asam Lemak Umum

Huruf Singkatan	Asam Lemak	Huruf Singkatan	Asam Lemak
AC	Asetat	Ln	Linolenat
Ad	Arachidat	M	Miristat
An	Arachidonat	N	Nervonat
B	Butirat	O	Oleat
Be	Behenat	Oc	Oktanoat
D	Dekanoat	P	Palmitat
E	Erusat	Po	Palmitoleat
El	Elaidat	R	Risinoat
G	Eikosenat	S	Saturated (Jenuh)
H	Heksanoat	St	Stearat
L	Linoleat	U	Unsaturated (Tak Jenuh)
La	Laurat	V	Vassenat
Lg	Lignoserat	X	Unknown (Tak Diketahui)

(Sumber : Litchfield, 1972)

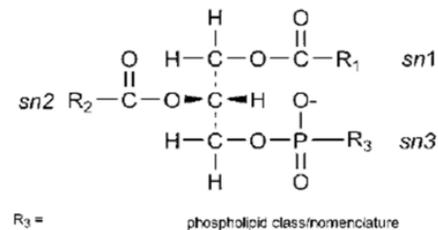
Trigliserida yang mengandung asam lemak yang berbeda diberi nama yang berbeda pula tergantung pada apakah lokasi stereospesifik dari setiap asam lemak diketahui. Nomenklatur untuk trigliserida heterogen ini menggantikan akhiran -at pada nama asam lemak dengan akhiran -il. Apabila lokasi stereospesifik tidak diketahui, asam palmitat yang mengandung trigliserida, asam oleat, dan asam stearat akan dinamai palmitil-oleil-stearil-gliserol. Sebagai alternatif, trigliserida ini dapat diberi nama palmito-oleo-stearin atau gliserol-palmito-oleostearat.

Apabila lokasi stereospesifik dari asam lemak diketahui, huruf sn- ditambahkan ke nama seperti pada 1-palmitil-2-oleil-3-stearil-sn-gliserol, sn-1-palmito-2-oleo-3-stearin, atau sn-gliserol-1-palmito-2-oleo-3-stearat. Jika terdapat dua asam lemak identik, penamaan dapat disingkat menjadi 1,2-dipalmitil-3-stearil-sn-gliserol, sn-1,2-dipalmito-3-stearin, atau sn-gliserol-1,2- dipalmito-3-stearat.

Trigliserida bersifat non polar, sehingga trigliserida bersifat tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut non polar. Hal ini dikarenakan gugus hidroksi pada molekul gliserol telah diesterifikasi oleh gugus karboksil dari asam lemak.

### 3.5. Fosfolipid

Fosfolipid atau fosfoliserida terdiri dari gliserol (umumnya gliserida), asam lemak, fosfat, dan biasanya terdiri dari basa organik atau gugus polihidroksi. Fosfolipid disebut sebagai modifikasi dari trigliserida karena hampir semua fosfat berikatan dengan posisi sn-3 pada molekul gliserol. Struktur induk dari fosfolipid adalah asam fosfatidik (sn-1,2-diasilgliserol-3-fosfat) dimana gugus yang terikat pada posisi sn-3 berupa gugus -OH.



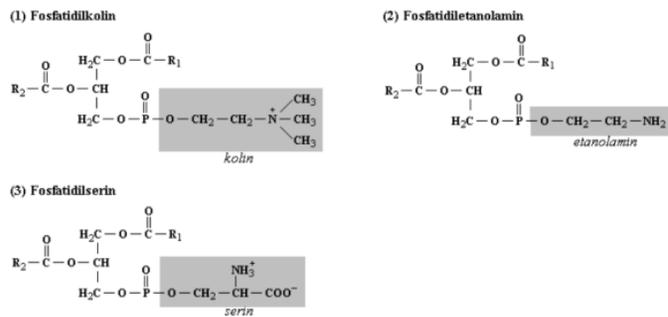
Gambar 155. Struktur Fosfolipid.

(Sumber : O'Keefe, 2002)

Fosfolipid ditemukan pada hampir seluruh lemak nabati dan hewani. Dalam minyak nabati terdapat sekitar 1-2% fosfolipid, sedangkan dalam lemak hewani kadar fosfolipid lebih tinggi daripada minyak nabati, misalnya pada kuning telur yang terdapat sekitar 20% fosfolipid.

Pemberian nama pada fosfolipid hampir serupa dengan trigliserida dengan nama dan lokasi fosfat ditempatkan di akhir nama. Awalan liso- menandakan bahwa asam lemak dihilangkan dari fosfolipid, dimana hal ini menunjukkan bahwa posisi sn-2 telah dihidrolisis dan asam lemak diesterifikasi pada posisi sn-1.

Fosfolipid yang mengandung asam fosfat dan basa nitrogen misalnya kolin dengan nama fosfatidilkolin atau yang biasa disebut dengan lesitin (1,2-diasil-sn-gliserol(3)fosfokolin), etanolamin dengan nama fosfatidiletanolamin atau yang biasa disebut dengan sefalin (1,2-diasil-sn-gliserol(3)fosfoetanolamin), atau serin dengan nama fosfatidilserin (1,2-diasil-sn-gliserol(3)fosfo-L-serin).

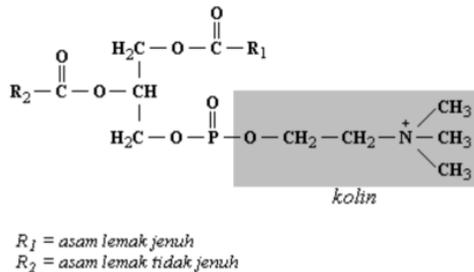


Gambar 156. Struktur Kimia Beberapa Fosfolipid  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Fosfolipid meliputi lesitin, sefalin, plasmalogen, sfingolipid dan fosfoinositida

### 3.5.1 Lesitin

Lesitin atau fosfatidilkolin (1,2-diasil-sn-glisero(3)fosfokolin) mengandung gliserol dan asam lemak dengan asam fosfat dan kolin. Asam lemak yang terikat pada posisi sn-1 merupakan asam lemak jenuh, misalnya asam lemak palmitat atau stearat, sedangkan asam lemak yang terikat pada posisi sn-2 adalah asam lemak tidak jenuh, misalnya asam oleat, asam linoleat, asam linolenat atau asam arakhidonat.

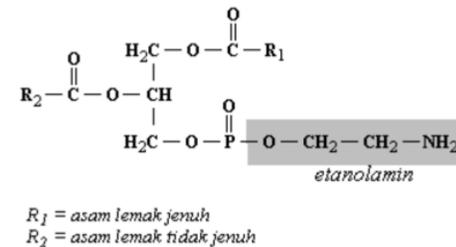


Gambar 157. Struktur Kimia Lesitin  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Lesitin berbentuk padat seperti lilin, tidak berwarna dan apabila terkena cahaya warnanya akan berybah menjadi kuning kemudian coklat. Lesitin terdapat dalam kuning telur, hati, kacang kedelai dan beberapa minyak nabati. Fungsi dari lesitin adalah untuk menjaga molekul non polar seperti sterol tetap dalam keadaan emulsi, oleh karena itu lesitin umumnya digunakan sebagai emulsifier dalam industri pangan seperti pada mayonnaise.

### 3.5.2 Sefalin

Sefalin atau fosfatidiletanolamin (1,2-diasil-sn-glisero(3)fosfoetanolanamin) memiliki komponen yang mirip dengan lesitin, dimana perbedaannya hanya senyawa kolin pada posisi sn-3 dalam lesitin digantikan dengan etanolamin dan sefalin memiliki lebih banyak ikatan rangkap dibandingkan lesitin. Asam lemak yang terikat pada posisi sn-2 hanya asam stearat jenuh.

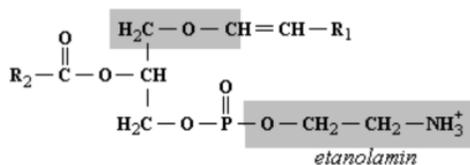


Gambar 158. Struktur Kimia Sefalin  
(Sumber : Apriyanto dan Rujiah, 2017)

Sefalin tidak berwarna dan apabila kontak dengan udara serta terkena cahaya, sefalin dapat dengan mudah terbentuk warna kegelapan sampai coklat kemerahan. Sefalin ditemukan dalam otak, hati dan khamir.

### 3.5.3 Plasmalogen

Plasmalogen memiliki struktur yang mirip dengan sefalin, perbedaannya adalah terdapat eter (1-alkenil) tidak jenuh yang terikat pada posisi sn-1 bukan ikatan ester seperti fosfolipid. Plasmalogen dapat ditemukan di membran jaringan otot, otak dan jantung.

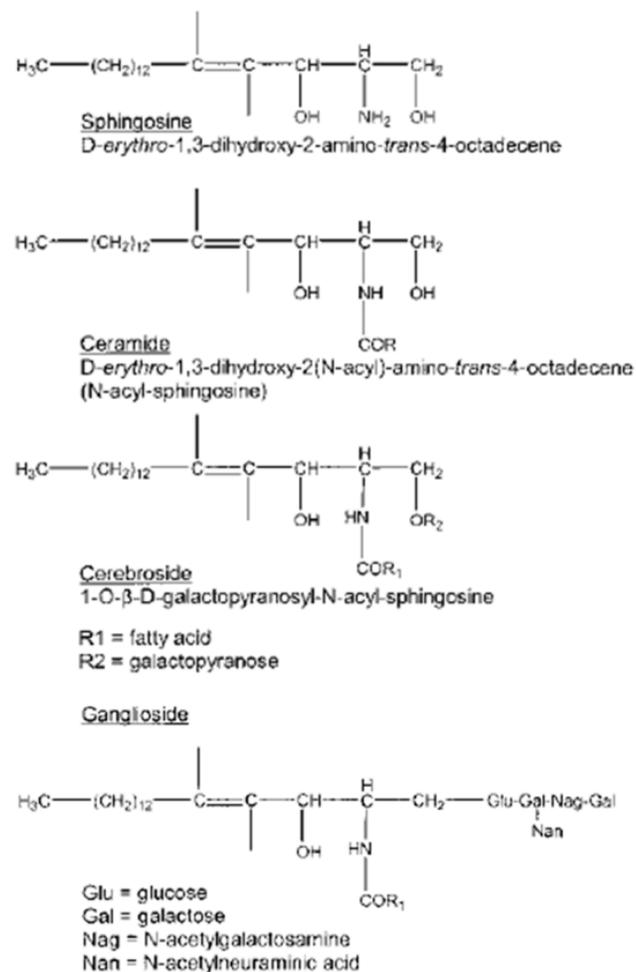


Gambar 159. Struktur Kimia Plasmalogen  
(Sumber: Apriyanto dan Rujiah, 2017)

### 3.5.4 Sfingolipid

Sfingolipid merupakan lipid yang biasanya mengandung basa rantai panjang, asam lemak dan berbagai senyawa lain seperti fosfat dan monosakarida. Basa yang terdapat pada sfingolipid ini umumnya merupakan basa sfingosin. Sfingolipid dapat digolongkan menjadi sfingomielin, seramida, serebrosida dan gangliosida. Sfingolipid umumnya ditemukan dalam membran sel terutama di jaringan saraf dan otak dan umumnya bukan merupakan komponen utama dari lemak pangan.

Seramida terdiri dari basa sfingosin dan asam lemak. Sfingomielin adalah salah satu contoh sfingofosfolipid, dimana sfingomielin adalah seramida dengan gugus fosfokolin yang terikat ke gugus hidroksil primer basa sfingosin. Seramida juga dapat terikat pada molekul karbohidrat menjadi sfingoglikolipid atau serebrosida melalui gugus hidroksil primer dari basa sfingosin. Gangliosida adalah serebrosida kompleks dengan residu seramida yang terikat ke karbohidrat yang mengandung asam glukosa-galaktosamin-N-asetilneuraminat.

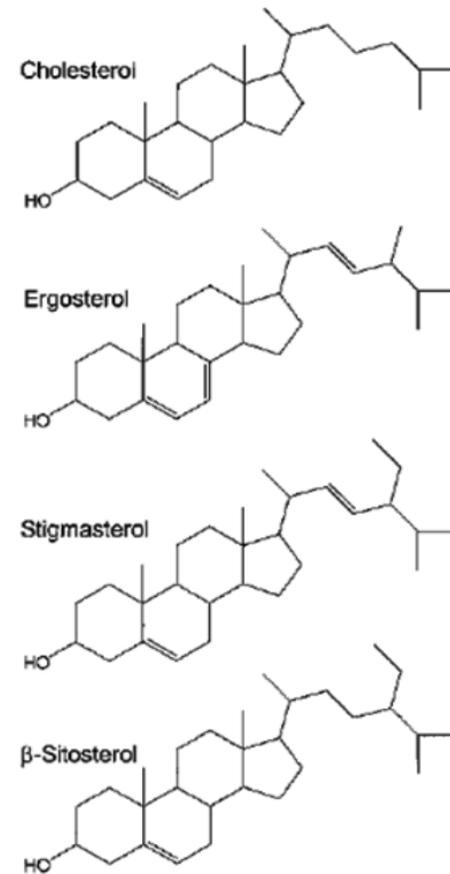


Gambar 160. Struktur Kimia Sfingolipid (Sfingosin, Seramida, Serebrosida dan Gangliosida)  
(Sumber : O'Keefe, 2002)

### 3.6. STEROL

Sterol termasuk kedalam lipid non polar dan merupakan turunan dari steroid yang sering ditemukan bersama-sama dengan lemak. Steroid dapat dipisahkan dari lemak setelah proses saponifikasi karena steroid tidak dapat disabunkan. Sterol memiliki tiga cincin enam karbon (sikloheksana) dan cincin lima karbon (siklopentana) yang terikat pada rantai alifatik. Sterol ditemukan pada tumbuhan (fitosterol atau ergosterol) dan hewan (zoosterol atau kolesterol). Sterol juga dapat ditemukan pada tumbuhan tingkat rendah seperti fungi atau jamur yang disebut dengan mycoesterol.

Kolesterol adalah sterol utama yang ditemukan dalam lemak hewan. Lipid tanaman mengandung banyak sterol dengan dominasi  $\beta$ -sitosterol dan stigmasterol. Kolesterol dapat ditemukan dalam lipid tumbuhan sebagai komponen sterol minor. Gugus hidroksil pada karbon 3 sterol membuat permukaan senyawa ini aktif. Oleh karena itu, kolesterol dapat mengorientasikan dirinya ke dalam membran sel di mana ia penting dalam menstabilkan struktur membran.



Gambar 161. Struktur Kimia dari Beberapa Jenis Sterol.

(Sumber : O'Keefe, 2002)

## Daftar Pustaka

- Apriyanto, M. dan Rujiah. 2017. *Kimia Pangan*. Trussmedia Grafika. Yogyakarta.
- Becalski, A., B.P.-Y., Lau, D., Lewis, dan Seaman, S.W. 2003. *Acrylamide In Foods: Occurrence, Sources, and Modeling*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51. Hal : 802–808.
- Belitz, H.D., Grosch, W., dan Schieberle, P. (Editor). 2004. *Food Chemistry*, Springer-Verlag, Berlin, Chap. 4.
- BeMiller, J.N. dan Huber, K. C. 2007. *Carbohydrates*. Di dalam : Damodaran, S., Parkin, K., dan Fennema, O. R. *Fennema's Food Chemistry Fourth Edition*. CRC Press. Boca Raton. Hal : 84-155.
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L., dan Stryer, L. 2002. *Biochemistry 5th Edition*. W. H. Freeman. Ney York.
- Birch, G.G. 1963. *Trehalose*. Di dalam. Wolfrom, M.L. dan Tyson, R.S (Editor). *Advances in Carbohydrate Chemistry*, vol. 18. Academic Press. New York. Hal : 201–225.
- Booker, D. B., dkk. 1981. *Drying Cereal Grains* The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- Botani, Fauzi. 2008. Pengaruh Suhu Evaporasi Terhadap Kualitas dan Nilai Organoleptik Susu Kental Manis. Padang: Universitas Andalas
- Cheftel, J.C., J. Levy, dan E. Dumay. 2000. Pressure-assisted freezing and thawing: principles and potential applications. *Food Rev. Int.* 16: 453–483.
- Cheftel, J.C., M. Thiebaut, and E. Dumay. 2002. High pressure–low temperature processing of foods: a review. *Advances in high pressure bioscience and biotechnology II, Proceedings of the International Conference on High Pressure Bioscience and Biotechnology*, Dortmund, Germany, September 16–19, Hal : 327–340.
- De Mann, J. M. 1980. *Principles of Food Chemistry*. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- De Mann, J. M. 1997. *Kimia Makanan*. Diterjemahkan: Padmawinata, K. Bandung. ITB.
- Dhingra, D., Michael, M., dan Rajput, H. 2012. *Dietary Dibre in Foods : a Review*. Di dalam : *J Food Science Technology*, 49(3). Hal :255–266
- Effendi, S. 2009. *Teknologi Pengolahan dan Pengawetan Pangan*. Alfabeta, Bandung.
- Franks, F. 2000. *Water, a Matrix of Life*. Royal Society of Chemistry: London.
- Freidman, M. 2003. *Chemistry, Biochemistry, and Safety of Acrylamide: A Review*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:4504–4526.
- Grover, J.A. 1984. *Methylcellulose (MC) and Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC)*, di Glicksman, M (Editor). *Food Hydrocolloids*, Vol. III, CRC Press, Boca Raton. Hal : 121–154.
- Harjadi, Purwiyatno. 2007. *Teknologi Pembekuan Pangan*. Di dalam : *Foodreview Indonesia*. Vol.II, No. 7 Juli 2007. Hal : 30-34.
- Kearsley, M. W. dan Boghani, N. 2011. Maltitol. Di dalam : Nabor, L.O, *Alternative Sweeteners, Fourth Edition*. Hal : 299-313.
- Khoury, D. E., Cuda, C., Luhovyy, B. L., dan Anderson, G. 2012. *Beta Glucan: Health Benefits in Obesity and Metabolic Syndrome*. Di dalam : *Journal of Nutrition and Metabolism*. Vol : 2012.
- Koellet P.C. dan Gray T.B. 1992. *Food Products and their Preservation by Refrigeration*. Di dalam : *Industrial Refrigeration*. Palgrave, London.
- Koswara, Sutrisno. 2009. *Pengolahan Pangan dengan Suhu Rendah*. Ebookpangan.co

Labuza, T.P., Reineccius, G.A., Monnier, V., O'Brien, J., dan Baynes, J. (Editor). 1995. *Maillard Reactions in Chemistry, Food, and Health*, CRC Press, Boca Raton.

Lower, S. 2017. A Gentle Introduction to Water and it's Structure. www.chem1.com.

Maheswari, G., Sowrirajan, S., dan Joseph, B. 2019.  $\beta$ -Glucan, a Dietary Fiber in Effective Prevention of Lifestyle Diseases – An Insight. Di dalam : *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. Vol : 19.

Nieto, M. B. 2009. *Structure and Function of Polyssaccharide Gum-Base Edible Films and Coatings*. Di dalam: *Edible Films and Coatings*. Embuscado, M. E. dan Huber, K. C (editor). Springer. New York. Hal 57-112.

Pérez, S., Mazeau, K., dan Hervé-du-Penhoat C. 2000. *The three-dimensional structures of the pectic polysaccharides*, *Plant Physiol. Biochem.* **38**. Hal : 37-55.

Pontis, H.G. 2017. *Methods for Analysis of Carbohydrate Metabolism in Photosynthetic Organisms*. Elsevier

Pszezola, D.E. 1988. *Production and Potential Food Applications of Cyclodextrin*. *Journal Food Technol.*, (1): 96-100.

Reid, D. S dan Fennema, O. R. 2007. *Water and Ice*. Di dalam : Damodaran, S., Parkin, K., dan Fennema, O. R. *Fennema's Food Chemistry Fourth Edition*. CRC Press. Boca Raton. Hal : 17-83

Richards, A. B. Dan Dexter, L. B. 2011. *Trehalose*. Di dalam : Nabor, L.O, *Alternative Sweeteners, Fourth Edition*. Hal : 439-470.

Said, N. I. 2007. Disinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum. JAI, Vol 3, No.1. Hal : 15-28.

Winarno, F. G. 1992. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta. Gramedia.

Wirjantakusumah A. 1992. *Petunjuk Laboratorium Peralatan dan Unit Proses Pangan*. Universitas Pangan dan Gizi ITB. Bogor

## Biodata Penulis

Dr. Ir. Yudi Garnida, M.S lahir di Jember, Jawa Timur, pada tanggal 21 Oktober 1967. Menikah dengan Ir. Kania Laelawati, M.M. dan dikaruniai 2 putri, yaitu Khanza Zahira Garnida dan Syifa Aurelia Garnida. Menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) di Jurusan Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan (Unpas) Bandung pada tahun 1992. Pada tahun 1998 menyelesaikan Pendidikan Magister (S2) di Universitas Padjajaran. Sedangkan Program Doktor (S3) dapat diselesaikannya pada tahun 2006 di Universitas Padjajaran dengan topik Desertasi tentang *edible coating* pada buah durian terolah minimal. Penulis pernah bekerja di PT. Baru Adjak (Perusahaan susu) pada tahun 1992 sebagai Asisten Manajer Produksi. Selanjutnya pada tahun 1994 bekerja di PT. Nestle sebagai *Rule Promotor*. Selanjutnya penulis kembali ke almamaternya di Universitas Pasundan sebagai dosen di Jurusan Teknologi Pangan. Sejak tahun 2000, penulis menjadi pengampu pada mata kuliah Uji Inderawi & Sensori, Kimia Pangan dan Penanggungjawab Laboratorium Uji Inderawi & Sensori di Jurusan Teknologi Pangan FT Universitas Pasundan.



Penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Jurusan Teknologi Pangan (2003-2007), Ketua Jurusan Teknologi Pangan (2007-2010), Dekan Fakultas Teknik (2010-2017) dan Wakil Rektor Bidang Keuangan Universitas Pasundan (2017-2021). Prestasi yang

pernah diraih adalah terpilih menjadi Ketua Jurusan Berprestasi ke-1 antar Perguruan Tinggi Swasta (PTS) se Jawa Barat-Banten dan menjadi Finalis Pemilihan Ketua Jurusan berprestasi tingkat nasional di Jakarta pada tahun 2009.

Selain kewajiban mengajar sebagai dosen, penulis banyak melakukan kegiatan penelitian, publikasi ilmiah dan kegiatan pengabdian pada masyarakat di berbagai daerah. Pernah menjadi pengasuh rubrik "Teknologi Tepat Guna" pada Tabloid Mitra Bisnis (2001-2006), penanggungjawab kegiatan pemberdayaan Usaha Kecil Menengah kerjasama dengan JICA (*Japan International Cooperation Agency*) pada tahun 2006-2008, Program Ilmu Pengetahuan Teknologi Daerah (Iptekda) LIPI, dan Dinas Provinsi/ Kabupaten di berbagai daerah di Indonesia. Sudah banyak penelitian yang dilakukan dengan sumber pendanaan dari hibah kompetitif LIPI, Kementerian Riset dan Teknologi, Balitbangda Provinsi Jawa Barat, Kementerian Perindustrian, Badan Perencanaan Daerah (Bappeda) Provinsi Jawa Barat, Badan Ketahanan Pangan Kementerian Pertanian dan Provinsi Jawa Barat, Hibah bersaing Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi (2011-2017).

Penulis memiliki 4 publikasi internasional pada jurnal bereputasi, memiliki 10 Hak atas Kekayaan Intelektual (HAKI), 3 di antaranya tentang *edible coating* dan 1 buah paten tentang "Formula Kecap Manis dari Kacang Koro Pedang (*Canavalia ensiformis*)". Buku yang pernah diterbitkan diantaranya adalah *Edible Coating dan Aplikasinya Pada Produk Pangan, Uji Inderawi & sensori*, dan *Edible Coating pada Buah Tomat*. Kegiatan lain yang dilakukan oleh penulis adalah Tenaga Ahli Pada Program Percepatan Penganekaragaman Konsumsi Pangan dan Gizi, Badan Ketahanan Pangan Provinsi Jawa Barat (2010), Dewan Riset Daerah (DRD)

Provinsi Jawa Barat (2016-2018), Komite Sekolah SMA Negeri 3 Bandung (2019-2021) dan berbagai kegiatan lainnya.

Kegiatan internasional yang terlibat langsung diantaranya kerjasama dengan Perguruan Tinggi dan Institusi luar negeri : North Star Development Village, Korea Selatan (2013), Changwon University, Korea Selatan (2014), Hallyim Politechnic, Korean National Open University (2014), Kitakyushu University, Jepang (2015), Osaka Prefecture University, Jepang (2016) dan Derby University, Inggris (2016).



### **Etnografi Suku Bangsa Minangkabau**

Penulis : Dr. Windanengsih, S.Sos., M.Si.  
ISBN : 978-602-5717-84-0  
Ukuran : 20,5 cm x 14,5 cm  
Hal : 194 halaman  
Harga : Rp.86.100.-



### **Sastra Tultur Sumatera Selatan**

Penulis : Fadhilah Hidayatullah, M.Pd.  
ISBN : 978-602-5717-79-6  
Ukuran : 20,5 cm x 14,5 cm  
Hal : 102 halaman  
Harga : Rp.45.000.-



### **Bahasa Indonesia**

Penulis : Dr. Iswanto, M.Hum  
ISBN : 978-602-5717-72-7  
Ukuran : 20,5 cm x 14,5 cm  
Hal : 219 halaman  
Harga : Rp.63.500.-

# Air, Karbohidrat dan Lipid

---

## ORIGINALITY REPORT

---

15%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

---

## PRIMARY SOURCES

---

1	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Internet Source	7%
2	<a href="https://123dok.com">123dok.com</a> Internet Source	2%
3	<a href="https://ar.scribd.com">ar.scribd.com</a> Internet Source	1%
4	<a href="https://tip.trunojoyo.ac.id">tip.trunojoyo.ac.id</a> Internet Source	1%
5	<a href="https://www.halodoc.com">www.halodoc.com</a> Internet Source	1%
6	<a href="https://bontocina-kaizen.blogspot.com">bontocina-kaizen.blogspot.com</a> Internet Source	1%

---

7	lordbroken.wordpress.com Internet Source	1 %
8	lordbroken.files.wordpress.com Internet Source	1 %
9	repository.unpas.ac.id Internet Source	1 %
10	id.scribd.com Internet Source	1 %
11	www.scribd.com Internet Source	1 %

Exclude quotes      On  
Exclude bibliography      On

Exclude matches      < 1%