

# Air

Prof. Dr. Ir. Dedi Fardiaz, M.Sc.



## PENDAHULUAN

---

Modul ini membahas tentang air, yaitu senyawa yang paling banyak terdapat pada bahan pangan. Pembahasan akan meliputi struktur molekul, sifat-sifat fisiko-kimianya. Peranan dan fungsi air dalam bahan pangan juga akan dibahas secara agak mendalam.

Modul ini hanya terdiri dari dua (2) Kegiatan Belajar, yaitu Kegiatan Belajar 1 membahas topik-topik seperti sifat fisiko-kimia air (meliputi struktur molekul, ikatan hidrogen, air dan es, serta sifat-sifat fisiko-kimia lainnya) dan Kegiatan Belajar 2 kadar air, keawetan bahan pangan dan sumbernya.

Dengan memahami materi-materi di atas diharapkan Anda mengetahui pentingnya keberadaan air, menjelaskan struktur kimia molekul air, dan membahas sifat-sifat fisiko-kimia air. Selanjutnya, mahasiswa diharapkan juga dapat menjelaskan peran dan fungsi air dalam bahan pangan, dan mengetahui sumber air di alam serta mikrobiologi air.

## KEGIATAN BELAJAR 1

## Sifat Fisiko Kimia Air dalam Bahan Pangan

Kiranya tidak berlebihan bila terdapat ungkapan bahwa tiada kehidupan tanpa air. Air memang sangat penting bagi kehidupan, khususnya manusia. Hampir dalam semua segi kehidupan, manusia memerlukan air.

Secara kuantitatif air merupakan komponen paling penting dalam tubuh manusia. Rata-rata sekitar 66% dari berat badan orang dewasa atau bahkan sekitar 75% dari berat bayi manusia yang baru lahir terdiri dari air.

Air mempunyai beberapa peranan penting di dalam tubuh antara lain adalah:

1. Air membantu membentuk, membangun serta memperbaharui jaringan-jaringan tubuh.
2. Air bertindak sebagai pelarut dan pembawa zat gizi yang diperlukan oleh tubuh dalam bentuk larutan.
3. Air juga membawa sisa-sisa pembakaran yang berupa kotoran ke tempat-tempat pembuangan.
4. Merupakan media bagi berbagai macam reaksi penting dalam tubuh.

Tabel 1.1 di bawah ini mencoba memberi gambaran tentang bagaimana penyebaran air sebagai komponen tubuh manusia. Terlihat bahwa air terdapat pada hampir semua bagian tubuh manusia.

Tabel 1.1. Kandungan air dalam berbagai jaringan dan organ tubuh manusia

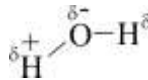
Nama organ dan jaringan tubuh	Kandungan air (%)
Air ludah, keringat	99,5
Darah	79,0
Paru-paru	79,0
Otot	76,0
Kulit	72,0
Lemak	30,0
Tulang	20,0

Air juga merupakan komponen penting dalam bahan pangan. Hampir semua jenis makanan mengandung air dengan proporsi yang berbeda-beda. Kandungan air dalam bahan makanan ini ikut menentukan mutu, tingkat penerimaan (*acceptability*) dan daya awet bahan makanan yang bersangkutan. Dalam hal ini, air dalam bahan pangan merupakan komponen utama yang mempengaruhi rupa, tekstur maupun cita rasa bahan makanan.

Mengingat pentingnya peranan air dalam tubuh dan juga dalam menentukan mutu suatu bahan pangan, maka perlu diketahui secara lebih detail sifat-sifat fisiko-kimia air, seperti akan diuraikan dalam kegiatan belajar ini.

### 1. Molekul Air

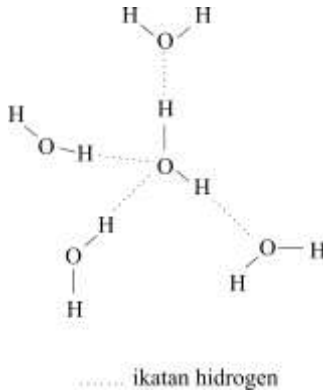
Secara kimia, molekul air ini cukup sederhana, yaitu H<sub>2</sub>O. Bentuk geometri molekul air ini cukup unik, dua ikatan kovalen antara O dan H membentuk sudut HOH yang besarnya sekitar 105°, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Geometri molekul air

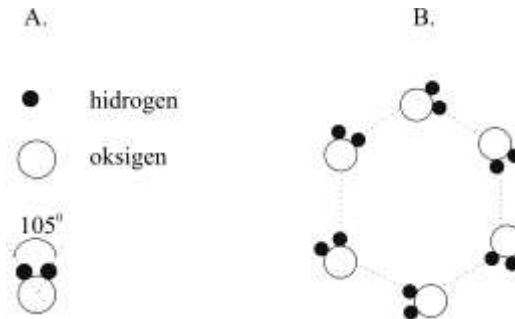
Dari sudut distribusi elektron, oksigen pada molekul air jauh lebih kaya elektron daripada hidrogen. Hal ini dapat pula dijelaskan dari adanya perbedaan elektronegativitas. Oksigen mempunyai elektronegativitas yang lebih tinggi daripada hidrogen. Sebagai akibatnya, inti atom hidrogen menjadi relatif terbuka, karena elektronnya lebih tertarik pada atom O. Kondisi distribusi elektron yang tidak merata ini menyebabkan atom H mempunyai muatan positif lokal dan atom O mempunyai muatan negatif lokal. Dengan kata lain, ikatan kovalen antara O dan H merupakan ikatan dengan karakteristik ionik secara parsial, karena oksigen mempunyai elektronegativitas yang jauh lebih tinggi daripada hidrogen. Dalam literatur sering dinyatakan bahwa ujung atom hidrogen (H,  $\delta^+$ ) merupakan suatu kutub yang lebih positif daripada atom O ( $\delta^-$ ) pada pusat molekul air (lihat Gambar 1.1). Karena itu sering dikatakan bahwa molekul air merupakan molekul berkutub ganda (*dwikutub*, *dipole*). Sifat dwikutub ini menyebabkan molekul

air dapat berasosiasi satu dengan yang lain melalui ikatan hidrogen, membentuk suatu kerumunan molekul-molekul air yang teratur.



Gambar 1.2 Bentuk asosiasi antarmolekul air melalui ikatan hidrogen

Pada Gambar 1.2. terlihat bahwa secara geometris, molekul air ini akan berasosiasi dengan empat molekul air lainnya membentuk suatu bentuk tetrahedral. *Ikatan hidrogen* yang terbentuk, yaitu antara inti hidrogen dari molekul air yang satu dengan pasangan elektron pada atom oksigen dari molekul air yang lain, sangat lemah dibandingkan dengan kekuatan ikatan kovalen. Ikatan hidrogen umumnya mempunyai energi ikatan (atau energi disosiasi) sebesar 25 kJ/mol atau 4.5 kkal/ mol. Hal ini berarti bahwa ikatan hidrogen tersebut hanya mempunyai energi disosiasi sekitar 4% dari energi ikatan kovalen antara O-H pada air (yaitu sekitar 110 kkal/mol). Walaupun demikian, ikatan hidrogen ini penting dalam menjaga struktur suatu senyawa biologi, karena ikatan hidrogen ini dapat terbentuk dalam jumlah yang banyak. Gambar 1.2 dapat pula disajikan dalam bentuk lain, di mana molekul air digambarkan dengan menggunakan model sebagaimana terlihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3. Bentuk asosiasi antar molekul air melalui ikatan hidrogen, di mana molekul-molekul air membentuk struktur heksagonal

## 2. Air, Es dan Uap

Di alam, air dapat dijumpai, paling tidak, dalam tiga bentuk; yaitu bentuk cair (air), bentuk padat (es) dan bentuk gas (uap). Ada bentuk-bentuk lain; misalnya bentuk salju. Masing-masing bentuk air tersebut mempunyai karakteristik yang khas. Pada dasarnya, karena adanya kecenderungan molekul air untuk berasosiasi dengan molekul air lainnya melalui ikatan hidrogen, maka baik dalam bentuk cair (air) ataupun beku (es), struktur air ini sangat beraturan mengikuti suatu pola tertentu seperti terlihat di Gambar 1.2 dan 1.3. Adanya ikatan hidrogen itu pulalah yang menyebabkan air mempunyai sifat cair dan dapat mengalir sebagaimana yang kita kenal sehari-hari.

Salah satu representasi susunan molekul air ini dapat dilihat pada Gambar 1.3, di mana molekul-molekul air saling berasosiasi sehingga terbentuk suatu struktur yang berbentuk *heksagonal*. Susunan demikian umumnya ditemukan jika air terdapat dalam bentuk es. Jumlah molekul-molekul air yang berasosiasi dengan satu molekul air melalui ikatan hidrogen ini disebut sebagai bilangan koordinasi. *Bilangan koordinasi* ini ternyata sangat *dipengaruhi oleh suhu*. Pada suhu 0°C dan 1 atmosfer, di mana air berada dalam bentuk beku (es), masing-masing *molekul air secara geometris akan berasosiasi* (melalui ikatan hidrogen) *dengan empat molekul air lainnya* (lihat Gambar 1.2 dan 1.3). Jadi bilangan koordinasi molekul air pada kondisi beku (0°C) adalah 4. Pada kondisi cair, satu molekul air dapat berasosiasi dengan lebih dari empat molekul air. Sedangkan pada suhu 1.5°C, bilangan koordinasi molekul air adalah 4.4, pada suhu 83°C adalah 4.9.

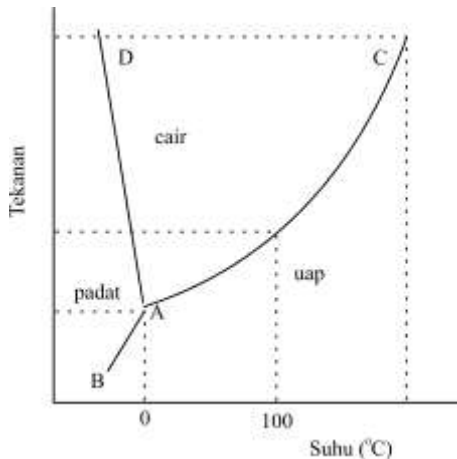
Selain perbedaan pada bilangan koordinasinya, perbedaan lain antara air dan es adalah *pada jarak atau panjang ikatan hidrogen (O-H-O) pada es (suhu 0°C) adalah 2.76 Å*, sedangkan pada air dengan suhu 1.5°C adalah 2.9 Å, dan suhu 83°C adalah 3.05 Å ( $1 \text{ Å} = 10^{10} \text{ m} = 0.1 \text{ nm}$ ).

Jika bilangan koordinasi dan jarak atau panjang ikatan hidrogen (O-H-O) pada molekul air selama proses pembekuan dari bentuk cair ke bentuk es menurun, hal ini menyebabkan *es mempunyai densitas atau kerapatan yang lebih rendah daripada air* (air mengapung di permukaan air). Pada proses pembekuan itu terjadi peningkatan volume, di mana *volumen air dalam bentuk es bertambah sebesar 1/11* dari volume air dalam bentuk cair.

Jika air dipanaskan, maka molekul-molekul air akan mulai merenggang satu sama lain. Misalnya, pada suhu 83°C jarak atau panjang ikatan hidrogen (O-H-O) adalah 3.05 Å. Jika air terus dipanaskan maka akhirnya ikatan hidrogen tersebut akan putus dan masing-masing molekul air menjadi sangat bebas bergerak, sehingga tekanan uap air menjadi sama atau lebih besar daripada tekanan atmosfer. Kondisi inilah yang disebut dengan *mendidih*; di mana hal ini terjadi pada suhu 100°C dan tekanan 1 atmosfer atau 760 millimeter air raksa (760 mm Hg).

Perubahan bentuk beku (es) menjadi cair (air) dan akhirnya gas (uap) ini sering disebut sebagai perubahan fase; yaitu dari fase cair, fase padat ke fase gas. Secara skematis, perubahan fase ini dapat disajikan dalam bentuk diagram fase, seperti terlihat pada Gambar 1.4; yaitu suatu pemetaan fase-fase air dalam hubungannya dengan suhu dan tekanan.

Pada Gambar 1.4, garis A-C dan garis A-D berturut-turut menunjukkan kondisi kesetimbangan antara cairan dan uap, serta antara cairan dan padat. Garis A-B menunjukkan kesetimbangan antara *fase padat* dan *fase gas*. Titik A, di mana terjadi kesetimbangan antara *ketiga fase (fase padat, cair dan gas)* pada suatu suhu dan tekanan tertentu disebut sebagai titik tripel (*triple point*). Pada tekanan 1 atmosfer, titik tripel ini terjadi pada suhu 0°C. Titik C disebut *titik kritis*; di mana jika air pada kondisi di atas titik ini, maka fase cair tidak dapat dibedakan lagi dengan fase gas.



Gambar 1.4. Diagram fase untuk air

### 3. Air dalam Bahan Pangan

Seperti telah dikemukakan di muka, air dalam bahan pangan mempunyai peranan penting dalam menentukan mutu produk pangan tersebut. Air terutama akan menentukan kesegaran, warna, kualitas permukaan (mengkerut atau tidak, mengkilat atau tidak), dan daya awet bahan pangan tersebut.

Tabel 1.2 berikut ini memperlihatkan kandungan air dari beberapa bahan pangan. Sering pula bahan pangan yang kita anggap kering, seperti tepung-tepungan, beras giling dan kacang hijau kering, ternyata masih juga mengandung air sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Kandungan air dari berbagai bahan makanan (Direk. Gizi, Depkes, 1981)

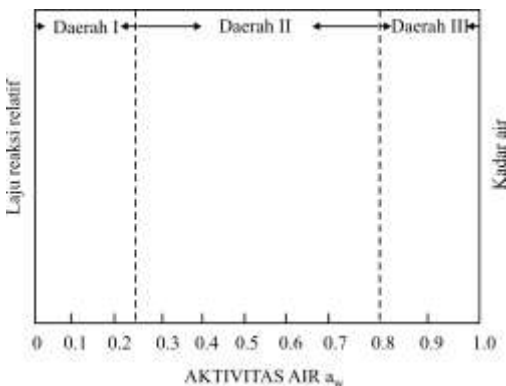
Bahan Pangan	Kadar air	Bahan Pangan	Kadar air
Tomat	94%	Roti	40%
Semangka	93%	Susu bubuk	14%
Kol	92%	Kecipir, biji	9,7%
Daging sapi	66%	Kedele	7,5%
Telur ayam	74%	Kacang hijau	10%
Ikan asin	40%	Tepung terigu	12%
Ikan teri kering	38%	Beras giling	12%

Air sebagaimana terlihat pada Tabel 1.2, adalah komponen penting dari bahan pangan. Air berperan sebagai media berbagai reaksi kimia dan khususnya juga berperan sebagai pereaksi/reaktan proses hidrolitik. Karena itu, upaya mengurangi kadar air (pengeringan atau dehidrasi) ataupun usaha untuk mengurangi ketersediaan air dengan cara *mengikat air oleh penambahan garam atau gula* diharapkan akan *menghambat laju berbagai reaksi kimia dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme*. Sehingga akan memperpanjang daya awet produk pangan.

*Kandungan air* suatu bahan pangan, terutama bagi hasil pertanian (buah dan sayuran) segar juga *merupakan indeks kesegaran* yang penting. Di samping itu, interaksi antara air dengan protein, karbohidrat, lipid dan komponen lain (garam-garaman) juga akan mempengaruhi *sifat tekstur bahan pangan*.

Secara garis besar, air dalam bahan pangan dapat dibedakan menjadi dua macam; yaitu *air terikat (bound water)* dan *air bebas (free water)*. Istilah-istilah tersebut dipandang kurang tepat mengingat bahwa pada dasarnya air mempunyai derajat keterikatan tertentu, yang besarnya bertingkat-tingkat. Ada air dalam bahan pangan yang mempunyai derajat keterikatan yang tinggi dan ada pula air yang mempunyai keterikatan rendah.

Air yang mempunyai derajat keterikatan yang sangat rendah atau tidak terikat sama sekali sehingga air tersebut mempunyai sifat seperti air murni disebut sebagai air bebas. Air bebas tidak mengalami penurunan titik beku. Sedangkan air terikat; sesuai dengan derajat keterikatannya dapat dibagi lebih lanjut menjadi tiga (3) tipe, seperti terlihat pada Gambar 1.5 dan Tabel 1.3.



Gambar 1.5. Hubungan kecepatan reaksi dengan water activity dalam bahan makanan (Labuza, 1971)



Tabel 1.3. Keterikatan molekul air dalam bahan pangan

Tipe Keterikatan	Kisaran $a_w$	Keterangan
Daerah III	0.8-0.99	Molekul air berada di dalam jaringan atau di dalam kapiler makro (diameter > 0.1 mm), mempunyai mobilitas tinggi tetapi masih mengalami sedikit penurunan titik beku.
Daerah II	0.25-0.8	Molekul air telah mempunyai mobilitas yang terbatas, karena berada di dalam kapiler mikro (meter < 0.1 mm) sehingga mengalami penurunan titik beku secara jelas
Daerah I	< 0.25	Molekul air tidak mempunyai mobilitas dan terikat dengan molekul-molekul lain dengan ikatan hidrogen ber energi tinggi sehingga tidak bisa dibekukan ( <i>non freezeable water</i> ).



## LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Apa yang Anda ketahui tentang molekul air?
- 2) Ikatan apa yang bertanggung jawab pada pembentukan kerumusan molekul-molekul air secara teratur?
- 3) Apa yang dimaksud dengan bilangan koordinasi?
- 4) Apa yang dimaksud dengan titik tripel?
- 5) Apa yang Anda ketahui tentang air terikat?

### *Petunjuk Jawaban Latihan*

Untuk Jawaban soal-soal latihan di atas, Anda harus mempelajari kembali materi mengenai:

- Pengertian molekul air
- Air, es dan uap
- Air dalam bahan pangan dan
- Keterikatan air

RANGKUMAN

---

1. Secara kimia, susunan molekul air ini cukup sederhana, yaitu  $\text{H}_2\text{O}$ . Bentuk geometri molekul air ini cukup unik, dua ikatan kovalen antara O dan H membentuk sudut H-O-H yang besarnya sekitar  $105^\circ$
2. Distribusi elektron pada molekul air tidak merata sehingga menyebabkan atom H mempunyai muatan positif lokal dan atom O mempunyai muatan negatif lokal. Hal ini disebabkan karena oksigen mempunyai elektronegativitas lebih tinggi daripada hidrogen. Sebagai akibatnya, inti atom hidrogen menjadi relatif terbuka, karena elektronnya lebih tertarik pada atom O. Karena itu molekul air merupakan molekul *berkutub ganda* (*dwikutub* atau *dipole*).
3. Sifat dwikutub molekul air menyebabkan molekul air dapat berasosiasi satu dengan yang lain melalui ikatan hidrogen membentuk suatu kerumunan molekul-molekul air dengan struktur yang unik.
4. Jumlah molekul-molekul air yang berasosiasi dengan satu molekul air melalui ikatan hidrogen disebut sebagai bilangan koordinasi. Bilangan koordinasi molekul air pada kondisi beku adalah 4. Sedangkan dalam bentuk cair pada suhu  $1.5^\circ\text{C}$  bilangan koordinasi molekul air adalah 4.4, pada suhu  $83^\circ\text{C}$  adalah 4.9.
5. Air dapat mengalami perubahan fase, dari fase beku (es) menjadi cair (air) dan akhirnya gas (uap). Titik di mana terjadi kesetimbangan antara ketiga fase (fase padat, cair dan gas) pada suatu suhu dan tekanan tertentu disebut sebagai titik tripel (*triple point*). Pada tekanan 1 atmosfer, titik tripel ini terjadi pada suhu  $0^\circ\text{C}$ .
6. Secara garis besar, air dalam bahan pangan dapat dibedakan menjadi dua macam: yaitu air terikat (*bound water*) dan air bebas (*free water*).

TES FORMATIF 1

---

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Besar sudut H-O-H pada molekul air adalah ....
  - A.  $105^\circ$
  - B. tergantung dari suhu, semakin tinggi suhu semakin besar sudutnya
  - C.  $110^\circ$
  - D.  $115^\circ$

- 2) Molekul air mempunyai sifat dwikutub disebabkan oleh ....
  - A. adanya distribusi elektron pada molekul air yang tidak merata
  - B. adanya atom H dan atom O
  - C. adanya ion-ion garam
  - D. elektronegativitas atom hidrogen yang lebih besar daripada elektronegativitas oksigen
  
- 3) Ikatan yang bertanggung jawab atas terbentuknya kerumunan molekul air yang teratur dan khas adalah ikatan ....
  - A. hidrogen
  - B. ionik
  - C. elektron
  - D. air
  
- 4) Bilangan koordinasi adalah tertentu pada suatu kondisi yaitu ....
  - A. jumlah molekul-molekul air yang berasosiasi dengan satu molekul air melalui ikatan hidrogen
  - B. molekul air pada kondisi beku ( $0^{\circ}\text{C}$ ) adalah 4,9
  - C. molekul air pada kondisi cair pada suhu  $1,5^{\circ}\text{C}$  adalah 4
  - D. molekul air pada kondisi cair pada suhu  $83^{\circ}\text{C}$  adalah 3,0
  
- 5) Titik *triple* adalah titik di mana terjadi ....
  - A. kesetimbangan antara ketiga fase air (fase padat, cair dan gas) pada suhu dan tekanan tertentu
  - B. perubahan fase padat ke cair
  - C. perubahan fase padat ke gas
  - D. perubahan fase cair ke gas
  
- 6) Air terikat adalah air dalam bahan ....
  - A. pangan yang tidak mengalami penurunan titik beku
  - B. pangan yang mempunyai mobilitas terbatas dan mengalami penurunan titik beku
  - C. pangan yang mempunyai mobilitas terbatas dan tidak mengalami penurunan titik beku
  - D. pangan
  
- 7) Aktivitas air adalah ....
  - A. sama dengan kelembaban relatif (RH)
  - B. suatu angka yang menunjukkan ketersediaan air bebas dalam bahan pangan
  - C. nilai  $a_w$  berkisar 0 sampai 100
  - D. sama dengan kadar air

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali  
80 - 89% = baik  
70 - 79% = cukup  
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

## KEGIATAN BELAJAR 2

## Kadar Air, Sumbernya dan Keawetan Bahan Pangan

Kadar air bahan pangan mempunyai peranan penting dalam menentukan keawetannya. Hal ini disebabkan oleh kadar air mempunyai pengaruh yang erat pada (i) laju pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan (ii) laju reaksi-reaksi kimia/biokimia yang dapat menyebabkan kerusakan bahan pangan.

Pertumbuhan mikroorganisme pada bahan pangan biasanya sangat dipengaruhi oleh aktivitas air ( $a_w$ ), yang mana  $a_w$  dapat diartikan sebagai indeks jumlah air yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya. *Semakin tinggi nilai  $a_w$ , maka semakin besar ketersediaan air sehingga semakin besar peluang ditemukannya mikroorganism.*

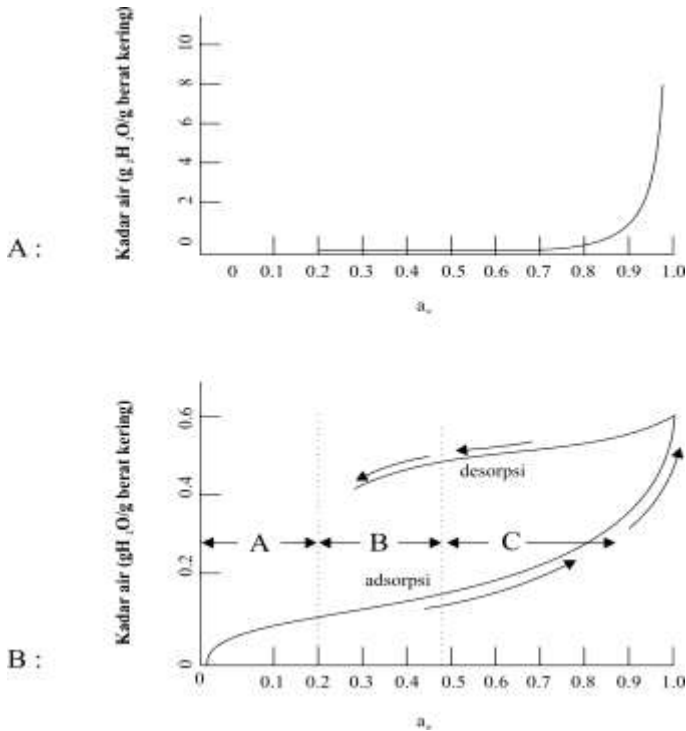
### A. ISOTERM SORPSI

Kurva hubungan antara kadar air dan aktivitas air (*water activity*;  $a_w$ ) suatu bahan pangan disebut sebagai kurva isoterm sorpsi. Aktivitas air adalah suatu angka yang menunjukkan ketersediaan air bebas dalam bahan pangan dan didefinisikan sebagai berikut:

$$a_w = P / P_o = RH/100,$$

di mana P adalah tekanan parsial uap air dalam bahan pangan pada suhu T,  $P_o$  adalah tekanan uap air murni pada suhu T, dan RH (*relative humidity*) adalah kelembaban relatif udara dalam keseimbangannya dengan bahan pangan dalam suatu ruangan penyimpanan pada suhu T. Dengan demikian nilai  $a_w$  mempunyai kisaran antara 0 (sangat kering, tidak terdapat air) sampai 1 (nilai  $a_w$  untuk air murni). Isoterm sorpsi bahan pangan secara umum dapat diperlihatkan seperti pada Gambar 1.6.

Karena itu, isoterm sorpsi produk pangan biasanya digambarkan dalam dua kondisi secara tersendiri: yaitu pada kondisi kadar air tinggi (Gambar 1.6 A) dan pada kondisi bahan pangan dengan kadar air yang rendah (Gambar 1.6 B).



Gambar 1.6 Isoterm Sorpsi Air

- A: Bahan pangan dengan kadar air tinggi;  
 B: Bahan pangan dengan kadar air rendah.

Seperti terlihat pada Gambar 1.6, pada kadar air yang rendah (kurang dari 50%) sedikit perubahan pada kadar akan menyebabkan perubahan yang besar pada  $a_w$ .

Pada Gambar 1.6.B terlihat bahwa kurva isoterm sorpsi dapat dibedakan menjadi isoterm desorpsi (yaitu pada proses pengeringan atau dehidrasi; di mana makin lama kadar air dan  $a_w$  semakin turun) dan isoterm adsorpsi (yaitu pada proses pembasahan atau adsorpsi; di mana makin lama kadar air dan  $a_w$  semakin meningkat). Kedua macam kurva isoterm sorpsi tersebut akan terlihat secara jelas jika kondisi bahan pangan telah mencapai kadar air kurang dari 50%. *Pada umumnya, kurva isoterm desorpsi berada sedikit di*

*sebelah atas daripada kurva isoterm adsorpsi. Fenomena ini disebut sebagai fenomena histerisis.*

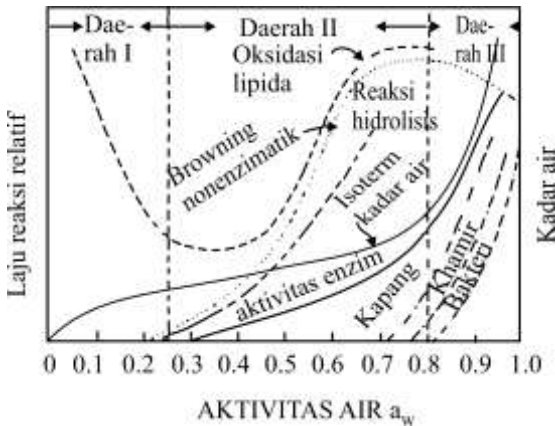
Secara umum, pada kurva isoterm sorpsi dapat dibedakan menjadi 3 daerah berdasarkan pada sifat-sifat air yang terlibat pada proses adsorpsi ataupun desorpsi. Misalnya pada proses adsorpsi: Pada daerah A, air yang diserap oleh bahan pangan akan digunakan *untuk membasahi permukaan-permukaan* bahan pangan yang kering sampai akhirnya terbentuk *satu lapisan molekul air* (disebut sebagai *lapisan monomolekuler* atau *monomolecular layer of water*). Setelah melewati daerah A dan memasuki daerah B, air yang diserap digunakan untuk *menambah ketebalan lapisan monomolekular*, sehingga akhirnya akan terbentuk suatu lapisan hidrasi yang cukup tebal; terdiri lebih dari monomolekular. Molekul-molekul air yang *membentuk lapisan hidrasi ini termasuk sebagai air terikat tipe I* (Tabel 1.3); tidak mempunyai mobilitas dan tidak dapat dibekukan. Selanjutnya, pada daerah C, air mulai terkondensasi dan mengisi pori-pori dan lubang kapiler yang terdapat pada bahan pangan. Pada kondisi ini molekul air mempunyai mobilitas yang tinggi, sehingga *termasuk dalam air terikat tipe III*.

## **B. AKTIVITAS AIR**

Pada praktiknya, berbagai mikroorganismenya mempunyai nilai  $a_w$  minimum, di mana pada kondisi  $a_w$  bahan pangan lebih besar daripada  $a_w$  minimum, maka mikroorganismenya tersebut mampu tumbuh dan berkembang dengan baik. Sebaliknya; pada kondisi  $a_w$  lebih kecil daripada nilai  $a_w$  minimumnya, maka mikroorganismenya tersebut tidak akan mampu tumbuh dengan baik karena tidak tersedia air yang cukup untuk pertumbuhannya. Bakteri umumnya mempunyai persyaratan  $a_w$  minimum yang lebih besar daripada persyaratan  $a_w$  minimum untuk kapang dan khamir. Nilai  $a_w$  minimum untuk bakteri biasanya adalah sekitar 0,9, sedangkan khamir mempunyai persyaratan  $a_w$  minimum antara 0,8-0,9. Dan kapang mempunyai persyaratan  $a_w$  minimum sebesar 0,6-0,7. Dengan demikian dapat diduga bahwa untuk produk pangan yang mempunyai nilai  $a_w$  lebih besar daripada 0,9, maka kemungkinan besar produk pangan tersebut dapat ditumbuhi baik oleh kapang, khamir ataupun bakteri. Sebaliknya, untuk produk pangan dengan  $a_w$  sekitar 0,6-0,7 kemungkinan besar produk tersebut akan ditumbuhi oleh kapang, tetapi tidak oleh bakteri. Namun demikian perlu diingat bahwa selalu ada kekecualian-kekecualian yang perlu dipertimbangkan; misalnya

beberapa bakteri khusus juga masih mampu tumbuh pada kondisi  $a_w$  sekitar 0.7.

Laju reaksi-reaksi kimia dan biokimia dalam bahan pangan juga sangat dipengaruhi oleh kadar air (khususnya oleh aktivitas air). Dengan demikian maka aktivitas air bahan pangan dapat dikendalikan untuk mendapatkan tingkat keawetan bahan pangan yang optimal. Hubungan antara aktivitas air dan kecepatan atau laju reaksi-reaksi ini dapat diperlihatkan pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7 Hubungan kecepatan reaksi dengan *water activity* dalam bahan makanan (Labuza, 1971)

Sebagaimana telah dikemukakan terdahulu, penurunan  $a_w$  akan menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Di samping itu, penurunan  $a_w$  juga akan menghambat laju reaksi enzimatik (reaksi-reaksi yang dikatalisis oleh aktivitas enzim), reaksi pencoklatan (terbentuknya warna coklat/browning sebagai akibat reaksi antara gula dan asam amino) dan reaksi-reaksi hidrolisis (Gambar 1.7). Dari Gambar 1.7 pula dapat dilihat adanya kekecualian; di mana penurunan  $a_w$  tidak selalu menurunkan laju reaksi oksidasi lipida (reaksi yang dapat menyebabkan ketengikan bahan pangan yang mengandung lemak). Reaksi oksidasi lipida atau lemak ini akan menurun jika  $a_w$  diturunkan sampai sekitar 0,3; namun penurunan  $a_w$  lebih lanjut (kurang dari 0,3) justru akan meningkatkan laju oksidasi lipida. Karena itu, produk pangan yang mempunyai nilai  $a_w$  di sekitar 0,3 (antara 0,2 dan 0,4) biasanya mempunyai daya awet yang maksimal (lihat Gambar 1.7).



Produk pangan dengan  $a_w$  antara 0.6 dan 0.9 sering disebut sebagai makanan semibasah (*intermediate moisture foods*). Produk-produk pangan semibasah ini (misalnya produk-produk dodol atau jenang) perlu dilindungi dari kerusakan karena pertumbuhan mikroorganisme. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menurunkan nilai  $a_w$ -nya (yang berarti menekan laju reaksi kerusakan dan laju pertumbuhan mikroorganisme). Penurunan  $a_w$  ini dapat dilakukan dengan penambahan bahan-bahan tambahan makanan (*food additives*) yang mempunyai kapasitas mengikat air yang tinggi. Bahan-bahan demikian disebut sebagai *humektan*; contohnya antara lain adalah *garam, gliserol, sorbitol dan sukrosa atau gula pasir* (Tabel 1.4).

Dari Tabel 1.4 diketahui bahwa gula pasir dengan kadar air 56% mempunyai nilai  $a_w$  sama (mempunyai tingkat ketersediaan air yang sama) dengan pati kentang dengan kadar air 20 %. Terlihat pula bahwa penambahan sejumlah garam pada produk pangan akan lebih efektif untuk menurunkan nilai  $a_w$  daripada penambahan gula pasir dengan jumlah yang sama. Hal ini disebabkan oleh garam mempunyai kapasitas mengikat air yang jauh lebih tinggi daripada gula.

Tabel 1.4 Kadar air beberapa produk pangan dan bahan tambahan makanan pada kondisi  $a_w = 0,8$

Jenis	Kadar air
Pati kentang	20
Kasein (protein susu)	19
Gliserol	108
Sorbitol	67
Sukrosa (gula pasir)	56
Garam-garam	332

Namun demikian penambahan bahan-bahan tambahan tersebut perlu memperhatikan pengaruhnya terhadap citarasa. Penambahan garam, misalnya, walaupun sangat efektif untuk menurunkan nilai  $a_w$ , namun akan memberikan rasa asin yang sangat tinggi. Dengan demikian maka penambahan bahan-bahan tersebut perlu disesuaikan dengan kebiasaan makan yang ada. Itulah sebabnya pada proses pembuatan dodol dan jenang banyak ditambahkan gula pasir, sehingga diperoleh produk dengan  $a_w$  yang

cukup rendah yang akan mampu bertahan segar pada waktu yang relatif lama dan dengan citarasa yang disukai.

## 1. Sumber Air

Secara garis besar, sumber air dapat dibedakan berdasarkan asalnya. Paling tidak terdapat tiga jenis air di alam, yaitu (1) air permukaan (2) air bawah tanah atau air sumber, dan (3) air hujan. Di samping itu, telah pula kita ketahui salah satu sumber air yang sangat potensial adalah air dalam bahan pangan seperti yang telah didiskusikan di bagian terdahulu (lihat Tabel 1.2).

Termasuk air permukaan adalah air laut, danau, sungai dan air selokan atau kanal. Air laut mengandung berbagai jenis garam 3-4 % yang mana paling tidak  $\frac{3}{4}$  dari garam-garam tersebut adalah  $\text{NaCl}$  (Natrium klorida). Air sungai, danau ataupun air kanal mengandung berbagai zat, tergantung dari asalnya. Perlu diingat bahwa cukup banyak pabrik dan kegiatan kota lainnya yang sampai saat ini masih membuang limbahnya ke sungai-sungai ini.

Kemurnian air tanah atau air sumber sangat tergantung pada kedalaman dan jenis tanahnya. Air sumber sering mengandung gas dan berbagai zat terlarut lainnya. Air yang paling murni yang terdapat dari alam adalah air hujan. Pada kenyataannya, air hujan merupakan air murni yang akhirnya dikondensasi dan jatuh sebagai air hujan. Namun demikian, pada saat jatuh inilah air hujan mulai melarutkan gas-gas dari atmosfer ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  dan  $\text{CO}_2$ ) dan juga partikel-partikel debu sehingga tidak murni lagi.

## 2. Air Minum

Peranan air memang sangat penting bagi kehidupan manusia, karena itu penting pula untuk berdiskusi tentang sifat-sifat air minum dan hal-hal yang berhubungan dengan mutu air minum. Air mempunyai sifat pelarut yang baik. Karena sifatnya itulah maka berbagai zat dapat dengan mudah terlarut dalam air, sehingga mempengaruhi sifat dan mutu air.

Air pada umumnya mengandung berbagai unsur kimia, seperti zat besi, zat kapur, garam-garam mineral, dan kuman (bakteri, ragi dan jamur). Mungkin saja air akan mengandung zat racun yang berbahaya sehingga mengganggu kehidupan manusia.

Secara garis besar untuk menilai mutu air, terdapat 3 kriteria utama yang harus diperhatikan. Ketiga kriteria itu adalah (1) kriteria fisik (2) kriteria

kimia dan (3) kriteria mikrobiologi. *Kriteria fisik* meliputi bau, warna, rasa, adanya endapan, adanya kekeruhan dan lain-lain yang umumnya dapat diamati secara organoleptik, yaitu dengan cara melihat dan mencicipi.

*Kriteria kimia* adalah kandungan zat besi, zat kapur, nitrat, mangan, amoniak, bahan-bahan organik, adanya logam berat berbahaya dan lain-lain. Sedangkan *kriteria mikrobiologi* adalah kandungan mikroorganisma dengan mendeteksi adanya kuman.

Dari berbagai penelitian, yang bertujuan untuk menetapkan standar air (khususnya air minum) yang aman bagi manusia, maka Menteri Kesehatan Republik Indonesia melalui Peraturannya, No. 01/BIRHUKMAS/I/1975 menetapkan standar air minum seperti pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5.  
Standar Baku untuk Air Minum (Menkes P.P. No.1/Birhukmas/I/1975)

	STANDAR		
	Maksimum yang dianjurkan	Maksimum yang diperoleh	Satuan (ppm)
<i>Kriteria Fisik</i>			
1. Warna	5	50	Pb-Co
2. Kekeruhan			SiO <sub>2</sub>
3. Bau		tak berbau	
4. Rasa		tak berbau	
5. Daya hantar listrik			
<i>Kriteria Kimia</i>			
6. pH	6,5	9,2	
7. Zat padat	500	1500	
8. Zat organik	-	10	KMnO <sub>4</sub>
9. Karbon dioksida bebas	-	0,0	CO <sub>2</sub>
10. Alkalinitas	-	-	CaCO <sub>3</sub>
11. Total kesadahan	5	10	°D
a. Kesadahan Kalsium	75	200	Ca <sup>++</sup>
b. Kesadahan Magnesium	30	150	Mg <sup>++</sup>
12. Besi	0,1	1,0	Fe <sup>++</sup>
13. Mangan	0,05	0,5	Mn <sup>++</sup>
14. Sulfat	200	400	SO <sub>4</sub>
15. Fosfat	-	-	PO <sub>4</sub>
16. Ammonium	-	0,0	NH <sub>4</sub>
17. Nitrit	-	600	N <sup>++</sup>
18. Chlorida	200	600	Cl <sup>-</sup>

Secara awam, cukup sulit menetapkan apakah air kita memenuhi standar atau tidak. Yang jelas bahwa air bening, bening belum tentu aman, karena

baru dilihat dari kriteria fisika saja, belum diketahui unsur-unsur kimianya. Ada contoh yang menarik. Air laut misalnya, secara fisik, air laut jernih dan bening, tetapi ternyata asin rasanya yang disebabkan adanya kandungan klorida yang tinggi. Karena itulah dipandang perlu untuk menyarankan kepada pemakai air, supaya menganalisis airnya di laboratorium.

Sebagai pedoman umum, ada baiknya diketahui pula beberapa petunjuk praktis berikut ini.

- a. *Warna, bau dan rasa air* pada umumnya dengan mudah dapat diamati oleh indera. Demikian pula dengan kekeruhan. Jika dideteksi adanya warna, bau dan rasa yang menyimpang, maka perlu dicurigai bahwa air tersebut tercemar.
- b. *Kesadahan* yang disyaratkan adalah 5-20°D. 1°D adalah 1 derajat kesehatan Jerman yang menyatakan kandungan CaO sebanyak 10 mg/liter air.

Berdasarkan tingkat kesadahan itu, maka air dibagi menjadi:

air sangat lunak	:	0 - 4°D
air lunak	:	4 - 8°D
air dengan kesadahan sedang	:	8 -18°D
air sadah	:	18 - 30°D
air sangat sadah	:	di atas 30°D.

Jadi, air yang baik untuk air minum termasuk air lunak sampai sedang. Tanda-tanda organoleptik (inderawi) yang dapat digunakan adalah (1) jika kesadahan terlalu tinggi, air terasa lengket atau bila dimasak akan terjadi endapan berupa kerak putih, (2) jika terlalu rendah, air terasa licin jika digunakan untuk cuci tangan atau mandi.

- c. *Zat besi*. Jika air mengandung zat besi dalam jumlah yang cukup besar, air yang mula-mula terlihat jernih setelah beberapa waktu akan berubah menjadi coklat kekuning-kuningan, atau membentuk kekeruhan. Bila kandungan zat besi sangat tinggi dapat menimbulkan endapan coklat-kekuningan. Kadang-kadang air kelihatan seperti berminyak, terdapat lapisan kaca-kaca dipermukaan air, closet porselen atau lantai akan menjadi kekuningan dan bila dicampur dengan air teh akan berubah menjadi warna kehitaman.

- d. Adanya *zat mangan* (Mn) akan mempunyai ciri-ciri seperti zat besi, tetapi perubahan warnanya adalah coklat kehitam-hitaman.
- e. Adanya *zat organik*, amoniak dan nitrit dalam jumlah yang cukup akan dapat dideteksi dengan bau ataupun warna yang khas.

Jika telah diketahui adanya penyimpangan dari kondisi normal, maka perlu segera dilakukan langkah penyelamatan, atau konsultasikan pada laboratorium yang berwenang, misalnya kepada instansi PAM.

### 3. Mikrobiologi Air

Bagaimana dengan kriteria mikrobiologi? Dalam Tabel 1.5 di atas (tentang standar mutu air minum) ternyata tidak tercantum tentang adanya standar mikrobiologi. Oleh Laboratorium Ilmu Kesehatan Teknik Bandung, Departemen Kesehatan mensyaratkan bahwa angka kuman dalam 1 ml air minum hendaknya kurang dari 100 kuman, serta dalam 100 ml air minum tidak terdapat bakteri coli. Untuk memenuhi syarat mikrobiologi ini, cara yang mudah dapat dilakukan adalah dengan cara memasak air minum sampai mendidih sebelum diminum.

Air memang mengandung bermacam-macam bakteri yang dapat berasal dari berbagai sumber misalnya udara, tanah, sampah, lumpur, tanaman atau hewan yang mati, kotoran manusia atau hewan dan bahan organik lainnya.

Tetapi sebagian dari bakteri tersebut ada yang tidak tahan hidup lama karena lingkungan hidupnya yang tidak cocok. Beberapa bakteri yang mungkin terdapat di dalam air dapat menyebabkan beberapa penyakit terutama penyakit perut. Penyakit-penyakit perut ini dapat ditularkan melalui kotoran manusia dan hewan. Oleh karena itu, air yang mengandung kotoran sangat berbahaya karena kemungkinan besar mengandung bakteri-bakteri penyebab penyakit tersebut.

Bakteri yang mungkin terdapat di dalam air misalnya beberapa spesies dari *Pseudomonas*, *Chromobacterium*, *Proteus*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Streptococcus* (*enterococci*) *Clostridium*, *Serratia*, *Enterobacter* dan *Escherichia*.

*Enterobacter* terutama *E. aerogenes* biasanya tumbuh pada tanaman atau hewan yang telah mati (saprofit) di permukaan air atau tanah, sedangkan *Escherichia* yang dapat hidup di dalam usus biasanya berasal dari kontaminasi dengan kotoran. *Escherichia coli* pertama diisolasi oleh Escherich pada tahun 1985 dari kotoran bayi. Kemudian diketahui bahwa

bakteri ini biasanya hidup dalam usus manusia atau hewan, dan merupakan bakteri yang lebih tahan hidup di dalam air bila dibandingkan dengan bakteri patogen yang biasanya terdapat di dalam saluran pencernaan (usus). Oleh karena itu uji mikrobiologi air pada umumnya didasarkan atas ada atau tidaknya *E. coli*, yaitu untuk mengetahui apakah air tersebut mengalami kontaminasi dengan kotoran. Adanya bakteri ini di dalam air tidak selalu menandakan bahwa air tersebut mengandung bakteri penyebab penyakit, tetapi kemungkinan besar memang ada.



## LATIHAN

---

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Apa yang dimaksud dengan aktivitas air ( $a_w$ )?
- 2) Uraikan mengenai 3 sumber air berdasarkan asalnya?
- 3) Bagaimana hubungan antara kadar air dan keawetan produk pangan?
- 4) Bagaimana hubungan antara aktivitas air ( $a_w$ ) dan pertumbuhan mikroorganisme?
- 5) Apa pengaruh penurunan  $a_w$  dengan laju atau kecepatan reaksi kimia dan biokimia dalam bahan pangan?
- 6) Apa yang Anda ketahui tentang makanan semibasah?

### *Petunjuk Jawaban Latihan*

Untuk menjawab soal-soal latihan di atas, Anda harus mempelajari kembali materi yang telah disajikan pada Kegiatan Belajar 2, terutama bagian-bagian tentang Sumber Air, Air Minum dan Kriteria Kimia (baku), serta Mikrobiologi Air.



## RANGKUMAN

---

1. Kurva isoterm sorpsi adalah kurva hubungan antara kadar air dan aktivitas air (*water activity*;  $a_w$ ) suatu bahan pangan. Pada kadar air yang rendah (kurang dari 50%), sedikit perubahan pada kadar akan menyebabkan perubahan yang besar pada  $a_w$ . Kurva isoterm sorpsi

dapat dibedakan menjadi isoterm desorpsi, (yaitu pada proses pengeringan atau dehidrasi, di mana makin lama kadar air dan  $a_w$  semakin turun) dan isoterm adsorpsi, (yaitu pada proses pembasahan atau adsorpsi, di mana makin lama kadar air dan  $a_w$ , semakin meningkat).

- 2). Kadar air bahan pangan mempunyai peranan penting dalam menentukan keawetannya, karena air secara langsung akan mempengaruhi (i) laju pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan (ii) laju reaksi-reaksi kimia/biokimia yang dapat menyebabkan kerusakan bahan pangan.
- 3) Berbagai mikroorganisme mempunyai nilai  $a_w$  minimum, di mana pada kondisi  $a_w$  bahan pangan lebih besar daripada  $a_w$  minimum, maka mikroorganisme tersebut mampu tumbuh dan berkembang dengan baik. Sebaliknya, pada kondisi  $a_w$  lebih kecil daripada nilai  $a_w$  minimumnya, maka mikroorganisme tersebut tidak akan mampu tumbuh dengan baik karena tidak tersedia air yang cukup untuk pertumbuhannya. Nilai  $a_w$  minimum untuk bakteri biasanya adalah sekitar 0,9, sedangkan khamir mempunyai persyaratan  $a_w$  minimum antara 0,8-0,9, dan kapang mempunyai persyaratan  $a_w$  minimum sebesar 0,6-0,7.
- 4) Penurunan  $a_w$  juga akan menghambat laju reaksi kimia dan biokimia bahan pangan; antara lain reaksi-reaksi enzimatik (reaksi-reaksi yang dikatalisis oleh aktivitas enzim), reaksi pencoklatan (terbentuknya warna coklat/*browning* sebagai akibat reaksi antara gula dan asam amino) dan reaksi-reaksi hidrolisis. Sebagai pengecualian adalah reaksi oksidasi lipida reaksi yang dapat menyebabkan ketengikan bahan pangan yang mengandung lemak. Reaksi oksidasi lipida atau lemak ini akan menurun jika  $a_w$  diturunkan sampai sekitar 0,3; namun penurunan  $a_w$  lebih lanjut (kurang dari 0,3) justru akan meningkatkan laju oksidasi lipida.
- 5) Produk pangan dengan  $a_w$  antara 0.6 dan 0.9 disebut sebagai makanan semi basah (*intermediate moisture foods*). Produk-produk pangan semibasah ini (misalnya produk-produk dodol atau jenang) perlu dilindungi dari kerusakan karena pertumbuhan mikroorganisme. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menurunkan nilai  $a_w$  yang dapat dilakukan dengan penambahan bahan-bahan yang mempunyai kapasitas mengikat air yang tinggi. Bahan-bahan demikian disebut sebagai humektan, contohnya antara lain adalah garam, gliserol, sorbitol dan sukrosa atau gula pasir.

**TES FORMATIF 2**

---

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Kurva isoterm sorpsi adalah kurva hubungan antara ....
  - A. pertumbuhan mikroorganisme dengan aktivitas air (*water activity*  $a_w$ )
  - B. keawetan bahan pangan dengan aktivitas air
  - C. kadar air dan aktivitas air suatu bahan pangan
  - D. keawetan bahan pangan dengan kadar air
  
- 2) Pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh aktivitas air, berkaitan dengan itu pernyataan mana yang benar ....
  - A. berbagai mikroorganisme mempunyai nilai  $a_w$  minimum, di mana pada kondisi  $a_w$  bahan pangan lebih kecil daripada  $a_w$  minimum tersebut, mikroorganisme mampu tumbuh dan berkembang dengan baik
  - B. berbagai mikroorganisme mempunyai nilai  $a_w$  minimum, di mana pada kondisi  $a_w$  lebih besar daripada nilai  $a_w$  minimum tersebut mikroorganisme tidak akan mampu tumbuh dengan baik karena tidak tersedia air yang cukup untuk pertumbuhannya
  - C. nilai  $a_w$  minimum untuk bakteri biasanya adalah sekitar 0,9, sedangkan khamir mempunyai  $a_w$  minimum 0,8-0,9 dan kapang mempunyai persyaratan  $a_w$  minimum sebesar 0,6-0,7
  - D. nilai  $a_w$  minimum untuk bakteri biasanya adalah sekitar 0,6-0,7, sedangkan khamir mempunyai  $a_w$  minimum 0,8-0,9, dan kapang mempunyai persyaratan  $a_w$  minimum sebesar 0,9
  
- 3) Penurunan  $a_w$  bahan pangan akan berpengaruh terhadap laju reaksi tertentu, manakah dari pernyataan di bawah ini yang benar ....
  - A. akan selalu menghambat laju reaksi-reaksi enzimatik, reaksi pencoklatan dan reaksi-reaksi hidrolisis
  - B. akan selalu menghambat laju reaksi oksidasi lipida atau lemak
  - C. akan menghambat laju pertumbuhan mikroorganisme pada  $a_w$  tertentu, tetapi penurunan  $a_w$  lebih lanjut akan mempercepat pertumbuhan mikroorganisme
  - D. akan selalu meningkatkan laju reaksi oksidasi lipida atau lemak



- 4) Makanan semi basah adalah ....
- A. produk pangan yang umumnya mempunyai  $a_w$  antara 0.6 dan 0.9
  - B. peningkatan nilai  $a_w$  yang dapat dilakukan dengan penambahan humektan
  - C. keawetan akan maksimum jika  $a_w$ -nya maksimum
  - D. produk pangan yang mengandung gula
- 5) Reaksi pencoklatan terjadi antara ....
- A. gula dan asam amino dengan reaksi hidrolisis
  - B. monosakarida dengan disakarida
  - C. logam dan sifat keaktifan air
  - D. monosakarida dengan air
- 6) Perubahan air menjadi coklat kehitam-hitaman menandakan adanya kandungan kimia cukup banyak (relatif banyak) yaitu ....
- A. fosfor
  - B. sulfur
  - C. mangan
  - D. amonia

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali  
80 - 89% = baik  
70 - 79% = cukup  
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

## Kunci Jawaban Tes Formatif

### *Tes Formatif 1*

- 1) A
- 2) A
- 3) A
- 4) A
- 5) A
- 6) B
- 7) B

### *Tes Formatif 2*

- 1) C
- 2) C
- 3) A
- 4) A
- 5) A
- 6) C

## Daftar Pustaka

Secretin, M.C. (1974). *The Basic Component of Food*, Nestle Products Technical Assistance Co. Ltd., Lausanne (Switzerland).

Belitz, H.D. and Grosch, W. (1987). *Food Chemistry*, Springer-Verlag, Berlin.

Zumdahl, S.S. (1989). *Chemistry*, 2nd. Ed. DC., Heath & Co., Lexington MA.