

MODUL 1

A i r

Prof. Dr. Ir. Momon Rusmono, M.S.
Afnidar S.Pd., M.Sc.
Dra Hartinawati M.Pd.



PENDAHULUAN

Mengingat pentingnya air dalam bahan makanan maka sangatlah penting bagi kita untuk mengetahui sifat dan perilaku air dalam bahan makanan. Untuk itu dalam Modul 1 ini, Anda akan mempelajari peranan air sebagai komponen bahan makanan. Setelah membaca dan mempelajari Modul 1 ini, Anda diharapkan dapat:

1. menjelaskan tipe air dalam bahan makanan;
2. menjelaskan persyaratan air untuk industri makanan;
3. menghitung kadar air;
4. menghitung aktivitas air;
5. menghitung kelembaban relatif dan kelembaban mutlak;
6. menjelaskan sorpsi isotermik.

Untuk membantu Anda dalam mempelajari dan memahami uraian materi Air ini, Modul 1 ini disajikan dalam 2 kegiatan belajar sebagai berikut.

Kegiatan Belajar 1 : Sifat, Persyaratan, dan Tipe Air.

Kegiatan Belajar 2 : Sifat Hidratasi Bahan Makanan.

Agar Anda berhasil dengan baik dalam memahami isi Modul 1 ini, ikutilah petunjuk berikut.

1. Bacalah semua bagian dari modul ini dari awal sampai akhir. Jangan melewatkan salah satu bagian apa pun.
2. Baca ulang dan pahami sungguh-sungguh prinsip-prinsip yang terkandung dalam Modul 1 ini.
3. Buatlah ringkasan dari keseluruhan materi Modul 1 ini.
4. Setelah Anda cukup menguasai materi tersebut, kerjakan soal-soal latihan yang terdapat dalam setiap kegiatan belajar Modul 1 ini.

5. Setelah Anda merasa sudah menguasai, kerjakan tes formatif yang ada, dan cocokkan hasilnya. Ikuti petunjuk dalam umpan balik.

Akhirnya kami berharap, semoga Anda tidak mengalami kesulitan dan hambatan yang berarti dalam mempelajari modul ini dan dapat berhasil dengan baik sesuai Tujuan Instruksional Khusus yang telah ditetapkan.

KEGIATAN BELAJAR 1**Sifat, Persyaratan, dan Tipe Air**

Air merupakan komponen utama yang terlibat dalam proses kehidupan. Air dalam bahan makanan sangat bermakna karena dapat menampilkan kesegaran jika kekurangan air maka buah-buahan maupun sayuran akan kelihatan layu. Sifat air adalah sebagai media pelarut dari bahan makanan hewani maupun nabati pada pigmen, vitamin, mineral, dan garam yang larut dalam air, serta senyawa cita rasa lainnya. Air dalam bahan makanan 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 (uji organoleptik dilakukan untuk mengetahui tingkat kesukaan atau kelayakan suatu produk agar dapat diterima oleh konsumen. Pengujian meliputi warna, suatu bahan pangan tidak akan dimakan apabila mempunyai warna yang tidak sedap dipandang atau memberi kesan telah menyimpang dari warna yang seharusnya. Begitu juga aroma yang enak dan sesuai dan kenampakannya) cita rasa dan nilai gizinya. Aroma merupakan faktor yang sangat penting untuk menentukan tingkat penerimaan konsumen terhadap suatu produk, sebab sebelum dimakan biasanya konsumen terlebih dahulu mencium aroma dari produk tersebut untuk menilai layak tidaknya produk tersebut dimakan.

Cita rasa bahan pangan sesungguhnya terdiri atas 3 komponen, yaitu bau, rasa, dan rangsangan mulut. Aroma yang enak dapat menarik perhatian konsumen dan kemungkinan besar memiliki rasa yang enak pula sehingga konsumen lebih cenderung menyukai makanan dari aromanya (Winarno, 2002).

Air berperan pula sebagai pembawa zat makanan dan sisa-sisa metabolisme. Selain itu, air berperan sebagai media yang menstabilkan pembentukan reaksi biopolimer.

Perbedaan kadar air dari setiap bahan makanan merupakan ciri khas dari setiap bahan makanan karena setiap bahan makanan mengandung jumlah kandungan air yang berbeda-beda sesuai dengan dari sifat bahan makanan yang berasal dari hewani maupun nabati, seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1.
Kandungan Air Beberapa Bahan Makanan

Bahan Makanan	Kadar Air (%)	Bahan Makanan	Kadar Air (%)
Tomat	95	Daging sapi	65
Kol	92	Roti	35
Bir	90	Sale	28
Jeruk	87	Madu	20
Susu	87	Mentega dan margarine	16
Kentang	78	Tepung terigu	12
Pisang	75	Beras	12
Daging ayam	70	Susu tepung	4

Sumber: De Menn, (1980) dalam Sakidja (1989).

A. SIFAT FISIK AIR

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 daripada yang 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.

Panas jenis dan panas laten air relatif lebih besar dibandingkan dengan benda-benda lain. Panas jenis es sekitar 0,50 kal/g°C, sedangkan panas jenis air, yaitu 1.0 kal/g°C, artinya jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1°C sebanyak 1 g air adalah 1,0 kal. Hal ini berarti jika diberikan panas yang sama pada beberapa zat maka kenaikan suhu air lebih lama daripada benda-benda lain. Prinsip ini digunakan dalam industri pangan untuk pendinginan makanan. Sebaliknya, panas yang ditangkap oleh air juga sukar dilepas kembali.

Panas laten penguapan air adalah 539 kal/g, yaitu jumlah panas yang diperlukan untuk mengubah 1 g air menjadi uap pada suhu titik didih (100°C). Nilai konstanta dielektrik air lebih besar dari benda-benda lain. Hal ini berarti bahwa air mudah mengikat zat-zat lainnya, atau dengan kata lain daya ikat suatu zat semakin besar jika konstanta dielektriknya semakin besar. Karena

itu, sangat sukar untuk mendapatkan air murni meskipun telah disuling berkali-kali.

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. Pada Tabel 1.2 disajikan beberapa sifat fisik air dan es.

Tabel 1.2.
Beberapa Sifat Fisik Air

Sifat Fisik	Suhu (°C)					
	0	20	40	60	80	100
Air						
Tekanan Uap (mm Hg)	4.58	17.53	55.32	149.4	155.2	760.0
Kerapatan (g/cm ³)	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 ² /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	1.3306	1.3272	1.3230	1.3180
Tetapan dielektrik	88.0	80.4	73.3	66.7	60.8	55.3
Koefisien muai panas x 10 ⁻⁴	-	2.07	3.87	5.38	6.57	-

Sumber: De Menn, (1980) dalam Sakidja (1989).

Semua zat padat yang dikenal akan menyusut jika semakin dingin. Ketika suhunya menurun, zat cair ini kehilangan volume. Ketika volume berkurang, kekerapan 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. Ada satu kasus di mana "hukum" ini dilanggar: air. Seperti zat cair lain, 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 daripada air cair, dan seharusnya tenggelam ketika menjadi es, namun ternyata, es mengapung.

B. SIFAT KIMIA AIR

Air memiliki sifat yang lebih spesifik, 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. Namun, tidak ada satu model yang paling sempurna untuk menjelaskan fenomena ikatan molekul air dalam bentuk 3 dimensi.

Elektron yang tidak tersebar merata dalam molekul air. Ikatan O-H adalah polar dan molekul air memiliki gugus dipole. Tiap molekul air dapat berpartisipasi terhadap 4 tipe ikatan hidrogen dengan molekul air lainnya. Di mana 2 ikatan H antar atom H dan 2 ikatan H dengan elektron atom oksigen. Pada es, molekul air membentuk sistem jaringan 3 dimensi. Di mana tiap satu molekul air berikatan secara tetrahedral dengan 4 molekul air lainnya. Air dalam bentuk cair, memiliki tendensi seperti bentuk tetrahedral.

Pada sistem larutan (seperti larutan gula, larutan garam, larutan asam/basa) terjadi kompetisi ikatan H antar molekul air-air dengan air-solutes (zat terlarut dalam air). Zat hidrofilik biasanya higroskopis. Gula, garam misalnya menyerap air dalam bentuk uap air. Molekul polar bermuatan maupun tidak bermuatan biasanya hidrofilik. Apabila molekul semacam ini memiliki atom negatif yang dapat berikatan dengan ikatan H dari molekul air. Namun, zat non-polar cenderung menghindar atau tidak mau berikatan atau kontak dengan molekul air.

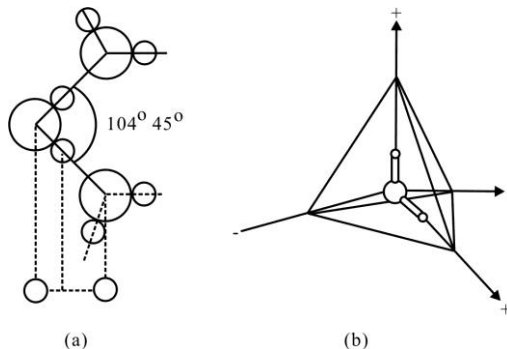
Kesimpulannya: dalam sistem pangan, molekul air saling berikatan melalui 2 tipe ikatan H antar molekul air dan 2 tipe ikatan H dengan elektron atom O. Tipe ikatan ini akan saling berkompetisi antara ikatan H antar molekul air dengan ikatan H dengan zat terlarut hidrofilik lainnya dalam sistem pangan.

1. Ikatan Kovalen

Air adalah suatu zat organik yang terdiri dari dua buah atom hidrogen yang berikatan kovalen dengan sebuah atom oksigen, dengan rumus molekul H_2O . Dalam sebuah molekul air, dua buah atom hidrogen berikatan dengan sebuah atom oksigen melalui dua ikatan kovalen, yang masing-masing mempunyai energi sebesar 110,2 kkal per mol. Ikatan kovalen tersebut merupakan dasar bagi sifat air yang penting, misalnya kemampuan air sebagai pelarut.

Apabila dua atom hidrogen bersenyawa dengan sebuah atom oksigen maka molekul tersebut menghasilkan molekul yang berat sebelah, dengan kedua atom hidrogen melekat di satu sisi atom oksigen dengan sudut sekitar 105° di antara keduanya. Akibat perbedaan elektronegativitas antara hidrogen dan oksigen maka sisi hidrogen dari molekul air tersebut akan bermuatan positif, sedangkan pada sisi oksigen akan bermuatan negatif.

Sebuah molekul air dapat digambarkan sebagai menempati pusat dari sebuah tetrahedron, suatu benda ruang dengan 4 sisi yang masing-masing sisinya merupakan segitiga sama sisi, dengan arah muatan seperti terlihat pada Gambar 1.1. Sebuah molekul air dengan 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.



Sumber: Winarno (1988).

Gambar 1.1. a. Sudut ikatan antara dua buah molekul air,
b. Orientasi muatan air pada bentuk tetrahedron

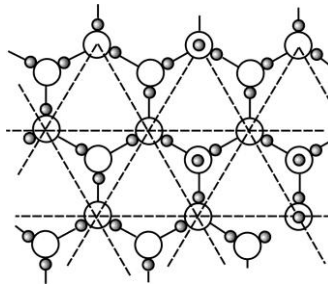
2. Ikatan Hidrogen

Daya tarik menarik di antara kutub positif sebuah molekul air dengan kutub negatif molekul air lainnya menyebabkan terjadinya penggabungan molekul-molekul air melalui ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen jauh lebih lemah dibandingkan ikatan kovalen. Ikatan-ikatan hidrogen mengikat molekul-molekul lain di sebelahnya dan sifat inilah yang bertanggung jawab terhadap sifat mengalirnya air. Molekul air yang satu dengan molekul air yang lain bergabung dengan ikatan hidrogen antara atom H dengan atom O dari molekul air yang lain.

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 - 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).

3. Air dalam Kristal Es

Es merupakan suatu senyawa yang terdiri dari molekul-molekul H₂O (HOH) yang tersusun sedemikian rupa sehingga 1 atom H terletak di satu sisi antara sepasang atom oksigen dari molekul-molekul air lainnya, membentuk suatu heksagon simetrik. Satu molekul HOH dapat mengikat 4 molekul HOH yang berdekatan (Gambar 1.2.) dan jarak atom O-O yang berdampingan sebesar 2,76 Å°.



Sumber: Winarno (1988).

Gambar 1.2.
Ikatan-ikatan Molekul Air Membentuk Heksagon dalam Es

Ruangan-ruang 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.

4. Sifat Kimia Lainnya

Dalam larutan, air berada dalam bentuk ion H^+ dan OH^- . Jumlah ion H^+ dalam larutan dapat dinyatakan dengan pH atau $-\log(H^+)$. Di dalam bahan makanan, pH air atau larutan sangat menentukan mutu, daya awet, dan warna bahan.

Sifat-sifat kimia air lainnya sangat erat kaitannya dengan kadar mineral, logam, gas-gas yang terlarut, dan kesadahan air tersebut. Kemampuan air untuk melarutkan zat-zat terbatas. Kelarutan mineral di dalam air akan naik dengan adanya gas yang terlarut di dalam air tersebut.

Gas-gas yang terlarut di dalam air terutama terdiri dari oksigen (O_2), karbondioksida (CO_2) dan nitrogen. Selain itu, terdapat juga hidrogen sulfida (H_2S) yang dihasilkan dari proses dekomposisi zat-zat protein atau dari sumber-sumber mineral.

C. PERSYARATAN AIR UNTUK INDUSTRI MAKANAN

Air yang digunakan untuk industri makanan minimal harus memenuhi standar mutu yang diperlukan untuk air minum. Beberapa industri makanan memerlukan air dengan syarat mutu yang lebih tinggi dibandingkan standar mutu air minum. Untuk hal tersebut maka diperlukan penanganan tambahan dengan tujuan untuk membunuh semua mikroorganisme yang ada pada air, menyesuaikan pH pada tingkat yang diinginkan, menghilangkan semua bahan di dalam air yang dapat mempengaruhi warna, rasa dan stabilitas hasil akhir, serta menyediakan air dengan mutu yang konsisten.

Dalam industri makanan, mutu air terutama penting dalam pengalengan makanan, pembuatan makanan berkarbonat dan bir, serta untuk produksi panas melalui pembangkit uap. Persyaratan mutu air minum dan air untuk industri makanan akan dijelaskan dalam modul ini.

1. Air Minum

Mutu air minum ditentukan oleh sifat-sifat fisik, kimia, dan bakteriologis. Dasar dari mutu air terutama ditujukan untuk menjaga kesehatan dan mencegah terganggunya keseimbangan organ-organ tubuh manusia.

Beberapa bakteri patogen pada umumnya terdapat di dalam air dan hidup dalam jangka waktu lama sehingga dapat memudahkan terjadinya penyebaran penyakit, seperti thipoid, kholera, disentri. Oleh karena isolasi dan identifikasi dari bakteri-bakteri tersebut sukar dilakukan maka biasanya pencemaran air

ditandai oleh adanya coliform terutama *Eschericia coli* dan *Aerobacter aerogenes*. Kedua coliform tersebut terdapat pada kotoran manusia (*faces*), di dalam usus manusia dan dapat membentuk gas dari laktosa.

Secara fisik persyaratan air minum adalah tidak mempunyai warna, bau, dan rasa, serta tidak keruh. Air untuk minum juga harus bebas dari kontaminasi kotoran (sampah), organisme patogen dan organisme yang hidup dalam usus manusia.

Air minum dari mata air pegunungan biasanya terasa lebih segar saat di minum hal ini karena kandungan oksigen dalam air lebih banyak, air pun lebih segar. Semakin rendah temperatur air, oksigen yang terlarut dalam air semakin banyak, membuat tubuh menjadi lebih segar bila di minum. Hal ini dapat kita rasakan juga ketika minum air es. Rasanya lebih segar dibanding air biasa. Semakin tinggi temperatur air, menyebabkan semakin kecil kandungan oksigen dalam air. Air akan terasa lebih dingin dan sejuk karena kandungan oksigennya yang lebih tinggi.

Temperatur tinggi juga membuat kadar oksigen mudah terlepas. Dalam suhu ruangan, air secara alamiah sudah mengandung oksigen sebanyak 1ppm (part per million=10 miligram per liter). Pada suhu lebih rendah (misalnya dalam lemari pendingin), kadar oksigen bisa meningkat hingga maksimal 15 ppm. Setiap enam molekul air yang bergandengan dengan ikatan hidrogen, membentuk suatu *water cluster* (klaster air) yang berstruktur cincin segi enam(heksagonal). Oleh karena bentuk segi enam, antara enam molekul itu terdapat sebuah ruang kosong, yang ukurannya lebih besar dari ukuran molekul air itu sendiri. Di ruang inilah molekul oksigen terikat tidak bisa meloloskan diri. Oleh karenanya, struktur air heksagonal mengandung lebih banyak oksigen.

Persyaratan air minum menurut Departemen Kesehatan disajikan pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3.
Persyaratan Air Minum di Indonesia

Nomor	Sifat, Kandungan	Batas maksimum
1	R a s a	tidak mengganggu
2	B a u	tidak mengganggu
3	Warna (cobalt-platina)	25 ppm
4	Kekeruhan (SiO ₂)	1.0 ppm
5	pH	6.6 - 9.0
6	Zat organik (KMnO ₄)	10.0 ppm
7	NO ₂ (nitrit)	0.0 ppm

Nomor	Sifat, Kandungan	Batas maksimum
8	NO ₃ (nitrat)	20.0 ppm
9	Cl/SO ₄	250 ppm
10	Mg	125 ppm
11	Fe	0.2 ppm
12	Zn	3.0 ppm
13	Kesadahan Total	5 - 10 °D
14	Pb	0.05 ppm
15	As	0.05 ppm
16	F	1.5 ppm
17	Cu	3.0 ppm
18	Mn	0.1 ppm
19	Total Solids	1000 ppm
20	Sisa Klor	0.2 - 0.4 ppm
21	Bakteri Coli	tidak ada dalam 100 ml

Sumber: Syarief dan Irawati, (1988).

2. Air untuk Industri

Air untuk industri makanan pada umumnya harus memenuhi persyaratan tidak berwarna, tidak berbau, jernih, tidak mempunyai rasa, dan tidak mengganggu kesehatan. Pada Tabel 1.4 disajikan standar umum air untuk keperluan industri pangan. Untuk industri non-makanan persyaratan air umumnya lebih sederhana dan menitikberatkan pada kesadahan dan pH.

Tabel 1.4.
Standar Umum Air untuk Industri Makanan

No.	Sifat Air	Toleransi (ppm)	Pengaruh Spesifik Bila Kelebihan
1	Kekeruhan	1 - 10	Pengendapan pada produk dan alat
2	Warna	5 - 10	Penyimpangan warna, masalah bahan organik
3	Rasa dan Bau	Nyata (noticeble)	Meningkatkan rasa dan bau dalam produk
4	Besi atau Mangan	0.2 - 0.3	Noda, penyimpangan warna dan rasa serta pertumbuhan bakteri besi
5	Alkalinitas	30 - 250	Netralisasi asam, mengurangi daya awet
6	Kesadahan	10 - 250	Pengendapan, absorpsi oleh beberapa produk
7	Jumlah Padatan Terlarut	850	Penyimpangan warna
8	Bahan Organik	-	Penyimpangan rasa, sedimen, pembusukan, reaksi
9	Flour	1.7	Pembusukan enamel gigi pada anak

Sumber: Syarief dan Irawati (1988).

Dalam pengalengan makanan, air digunakan untuk perendaman, pencucian, pengupasan, *blanching*, pembangkit uap, pendinginan kaleng dan pembersihan pabrik. Selain itu, air digunakan pula sebagai komponen produk kalengan dalam bentuk sirup, air garam, atau lainnya. Senyawa yang tidak diharapkan terdapat dalam air, antara lain zat besi, senyawa belerang, dan kesadahan tinggi. Air untuk pencucian bahan mentah dapat digunakan air yang bermutu rendah, tetapi air untuk pendinginan harus cukup cuci hama (misalnya diberi chlorine), dengan maksud untuk mencegah kemungkinan masuknya bakteri setelah proses pengolahan. Persyaratan minimum untuk air pendingin kaleng adalah kandungan total sisa chlorinanya tidak lebih dari 4 mg/l dan sebagian harus dalam bentuk sisa chlorine bebas, setelah proses pendinginan selesai.

Dalam pembuatan minuman berkarbonat atau *soft drink*, pengendalian mutu air merupakan langkah yang sangat penting karena kesadahan karbonat yang tinggi (alkalinitas) dapat menyebabkan minuman asam menjadi tidak lezat dan rasanya menjadi tawar. Pada prinsipnya, produk minuman berkarbonat adalah air sehingga rasa atau bau apa pun yang terdapat di dalam air akan mempengaruhi produk akhir. Kejernihan yang tinggi dari sebagian besar *soft drink* merupakan faktor yang penting dari segi pemasaran. Komponen air lainnya yang perlu diperhatikan adalah total padatan, zat besi dan mangan, sisa chlorine, dan bermacam-macam mikroorganisma.

Untuk minuman keras, air yang digunakan harus mempunyai kadar alkali (alkalinitas) rendah karena alkalinitas yang tinggi akan menetralkan dan mengurangi rasa segar dari minuman tersebut. Untuk berbagai jenis minuman kadar alkali berkisar antara 50 - 100 ppm. Penggunaan air sadah selain dapat menyebabkan korosi dan kerak pada pipa-pipa penyalur, juga dapat mempengaruhi rasa dan bau dari minuman beralkohol.

Ambang toleransi maksimal dari komposisi air untuk beberapa proses pengolahan dalam industri makanan dapat dilihat pada Tabel 1.5. Untuk pembuatan bir, air yang digunakan harus mempunyai alkalinitas rendah dan kesadahan (CaSO_4) yang tinggi agar diperoleh warna terang pada minuman yang dihasilkan. Caranya dengan menambahkan CaSO_4 ke dalam air yang digunakan.

Tabel 1.5.
Ambang Toleransi Maksimal dari Komposisi Air
untuk Beberapa industri Makanan

Sifat Air	Pengalengan	Soft Drink	Minuman (Beverages)	Pembuatan Es Batu
Kekeruhan	1	1	5	1
Rasa dan bau	tidak ada	tidak ada	tidak ada	tidak ada
Warna	-	10	-	5
Besi dan Mangan	0.2	0.3	0.1	0.2
Sulfat (SO ₄)	-	250	-	-
MgSO ₄	-	-	-	130
Klorida (Cl)	-	250	-	-
MgSO ₂	-	-	-	171
Alkalinitas (CaCO ₃)	-	30 - 80	50	-
Ca(HCO ₃) ₂	-	-	-	50
Mg(HCO ₃) ₂	-	-	-	50
NaHCO ₃	-	-	-	35
Kesadahan (CaCO ₃)	85	-	150	-
Jumlah padatan terlarut	-	850	500	171 - 350
bahan-bahan organik	-	tidak ada	tidak ada	-
Flour	1	1	1	1

Sumber: Syarief dan Irawati (1988).

D. TIPE AIR

Air dalam bahan makanan terdapat di antara sel-sel maupun di dalam sel. Air bebas terdapat di dalam jaringan, sedangkan air terikat biasanya di dalam sel. Ada banyak konsep tentang macam-macam air yang terdapat dalam bahan makanan. Secara konvensional air dalam bahan makanan dapat dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu air terikat secara kimia, air terikat secara fisik dan air bebas. Dalam modul ini kandungan air bahan makanan akan dikelompokkan ke dalam dua kelompok besar, yaitu air yang terikat secara fisik dan air yang terikat secara kimia. Selain itu, dalam modul ini akan dibahas pula tipe air dalam bahan makanan berdasarkan keterikatannya dalam bahan makanan.

1. Air Terikat secara Fisik

Air terikat secara fisik sedikitnya ada 3 jenis, yaitu air kapiler, air terlarut, dan air adsorpsi.

a. *Air kapiler*

Air kapiler adalah air yang terikat dalam rongga-rongga jaringan kapiler yang halus dari bahan makanan. Kondisi air kapiler ini dapat digambarkan seperti air yang terkurung dalam rongga-rongga butiran tanah yang halus.

Air kapiler mempunyai tekanan uap yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan tekanan uap bebas. Besarnya tekanan uap bebas tergantung pada besar-kecilnya daya tarik kapiler, dan besar-kecilnya daya tarik kapiler tersebut tergantung pada ukuran kapiler. Penyebaran air tersebut tidak homogen, dan pengeringan yang dilakukan pada suhu di atas 100°C berjalan lambat.

b. *Air terlarut*

Air terlarut adalah air yang terdapat dalam bahan padat dan seakan-akan larut dalam bahan tersebut. Apabila air terlarut akan diuapkan dari bahan makanan maka air tersebut harus berdifusi dari bagian dalam melalui bahan-bahan padat.

Larutan gula atau garam dapur yang encer mempunyai tekanan uap dan titik beku yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan air murni. Masing-masing molekul gula atau garam bergabung sedemikian rupa dengan molekul air sehingga tidak lagi menunjukkan sifat-sifat normalnya. Penambahan zat terlarut yang terus-menerus akan menghasilkan larutan jenuh dan tekanan uapnya menjadi semakin menurun sampai suatu saat tidak dapat lebih rendah lagi. Pada larutan gula dapat terjadi larutan lewat jenuh dan tekanan uap larutan dapat dibuat lebih rendah, yaitu di bawah tingkat jenuh; larutan lewat jenuh biasanya tidak stabil.

Kebanyakan bahan makanan mengandung sejumlah besar bahan-bahan yang larut dalam air, seperti gula, garam-garam mineral, asam-asam organik, dan vitamin-vitamin. Kandungan bahan-bahan ini membentuk larutan pekat dalam bahan makanan dan tergantung dari besarnya kadar air yang terkandung. Tekanan uap dari larutan ini akan lebih rendah daripada air bebas, dan tergantung dari derajat kepekatannya. Pada proses pengeringan, suhu meningkat tidak selalu dapat menguapkan air terlarut yang terdapat dalam bahan makanan karena air tersebut harus berdifusi melalui lapisan-lapisan padat dari bahan makanan dan membutuhkan waktu yang relatif lama.

c. *Air adsorpsi*

Air adsorpsi adalah air yang terikat pada permukaan. Air ini merupakan keseimbangan dari uap air yang ada di udara sekelilingnya sehingga jumlahnya

dipengaruhi oleh kelembaban dan suhu lingkungan. Semakin halus butir-butir padatan akan semakin banyak air yang teradsorpsi, sebab luas permukaan persatuan berat bertambah. Setiap bahan makanan mempunyai daya adsorpsi air pada permukaan yang berbeda-beda.

Pada tahap awal, molekul uap air terkumpul di permukaan, yaitu pada saat tekanan meningkat hingga terbentuk satu lapisan molekul air yang menutupi seluruh permukaan. Lapisan demikian disebut sebagai kondisi lapisan tunggal (*mono layer*). Lapisan demi lapisan molekul air selanjutnya akan terbentuk dengan semakin tingginya tekanan uap, tetapi lapisan-lapisan molekul air yang terbentuk kemudian memiliki daya ikatan yang semakin lemah dibandingkan dengan daya ikat lapisan yang terbentuk sebelumnya.

Tekanan uap dari air adsorpsi pada lapisan tunggal jauh lebih rendah dibandingkan dengan air bebas karena ikatan air pada bahan makanan mempunyai kekuatan yang relatif besar.

2. Air Terikat secara Kimia

Air terikat secara kimia jumlahnya tertentu, mengikuti suatu perbandingan berat tertentu dan tergantung pada jenis bahan makanan. Energi yang mengikat air jenis ini relatif besar sehingga diperlukan suhu yang lebih tinggi untuk menguapkannya. Air terikat secara kimia sedikitnya ada dua jenis, yaitu air kristal dan air konstitusi.

a. Air kristal

Air kristal adalah air yang terdapat dalam bentuk kristal (hidrat) yang dibentuk oleh garam-garam mineral pada bahan makanan, dan terikat sebagai molekul-molekul dalam bentuk H_2O . Pembentukan air kristal sering dijumpai pada eksikator pengeringan.

b. Air konstitusi

Air konstitusi adalah air yang terikat secara kimia dengan senyawaan bahan makanan dan merupakan bagian dari molekul senyawa padatan tertentu (bukan dalam bentuk H_2O). Meskipun demikian, apabila senyawa padatan tersebut terurai maka unsur H dan O akan ke luar sebagai molekul H_2O , untuk mengeluarkannya dibutuhkan suhu yang tinggi. Sebagai contoh, apabila gula dipanaskan pada suhu tinggi sehingga terbentuk karamel maka gula telah melepaskan sebagian air konstitusinya. Contoh lainnya, apabila protein

dipanaskan maka akan kehilangan sebagian air konstitusinya sehingga akan terjadi perubahan sifat permanen protein dari sifat aslinya.

Dari uraiannya sebelumnya dapat disimpulkan bahwa dalam suatu bahan makanan dapat terkandung semua jenis air, ataupun salah satu dari jenis-jenis air tersebut. Sebagai contoh, proses pemanasan kentang dengan menggunakan microwave melibatkan berbagai jenis air, seperti air kapiler, air terlarut, air adsorpsi, dan air konstitusi sehingga memungkinkan kentang tersebut matang tanpa penambahan air. Hal ini disebabkan proses gelatinasi terjadi karena adanya pati dan air yang terkandung dalam kentang, disertai dengan pemanasan suhu tinggi. Dengan demikian, proses pengeringan belum tentu hanya menghilangkan satu jenis air terikat saja, bahkan dapat menghilangkan semua jenis air yang terikat secara fisik maupun kimia.

3. Tipe Air Berdasarkan Keterikatannya

Berdasarkan derajat keterikatan air dalam bahan makanan, molekul air dibagi atas 4 tipe, yaitu sebagai berikut.

- a. **Tipe I** adalah molekul air yang terikat secara kimia dengan molekul-molekul lain melalui suatu ikatan hidrogen yang berenergi besar. Derajat pengikatan air ini sangat besar sehingga tidak dapat membeku pada proses pembekuan dan sangat sukar dihilangkan dari bahan. Molekul air membentuk hidrat dengan molekul-molekul lain yang mengandung atom-atom oksigen dan nitrogen, seperti karbohidrat, protein, dan garam.
- b. **Tipe II** adalah molekul air yang terikat secara kimia membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air lainnya. Air tipe ini terdapat dalam mikrokapiler dan sukar dihilangkan dari bahan. Penghilangan air tipe ini akan mengakibatkan penurunan a_w (*water activity*). Apabila sebagian air tipe II ini dihilangkan maka pertumbuhan mikroba dan reaksi-reaksi kimia yang bersifat merusak bahan makanan, seperti *browning*, hidrolisis atau oksidasi lemak akan berkurang. Apabila seluruh air tipe II ini dihilangkan maka kadar air bahan makanan sekitar 3 – 7%, dan kestabilan optimum bahan makanan akan tercapai, kecuali pada produk-produk yang dapat mengalami oksidasi akibat adanya kandungan lemak tidak jenuh.
- c. **Tipe III** adalah molekul air yang terikat secara fisik dalam jaringan-jaringan matriks bahan seperti membran kapiler, serat dan lain-lain. Air tipe ini disebut air bebas, mudah dikeluarkan dari bahan, dan apabila diuapkan seluruhnya kadar air bahan akan mencapai 12 – 25%. Air tipe ini dapat

dimanfaatkan untuk pertumbuhan jasad renik dan merupakan media bagi reaksi-reaksi kimia.

- d. **Tipe IV** adalah air yang tidak terikat dalam jaringan suatu bahan atau air murni, dengan sifat-sifat air biasa dan keaktifan penuh.



LATIHAN

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

- 1) Jelaskan pengaruh peningkatan suhu terhadap sifat air berikut:
 - A. tekanan uap;
 - B. kerapatan;
 - C. kekentalan;
 - D. tetapan dielektrik;
 - E. kandungan oksigen.
- 2) Apa perbedaan pokok antara kesadahan sementara dan kesadahan tetap!
- 3) Tuliskan sifat-sifat air yang perlu diperhatikan untuk industri makanan!
- 4) Jelaskan tiga jenis air dalam bahan makanan yang terikat secara fisik!
- 5) Jelaskan tipe air berdasarkan derajat keterikatannya dalam bahan makanan!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Lihat Tabel 1.2 dan Anda amati serta cermati mulai dari suhu 0°C sampai suhu tertinggi 100°C. Anda akan melihat perbedaan harga-harga tekanan uap, kerapatan, kekentalan dan tekanan dielektrik pada setiap kenaikan suhu 20°C dan bacalah penjelasan tentang air minum.
- 2) Anda baca kembali submateri kesadahan air. Kesadahan sementara yang disebabkan oleh kalsium atau magnesium karbonat dan bikarbonat dapat dihilangkan dengan pemanasan, sedangkan kesadahan tetap yang disebabkan oleh garam CaSO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 , dan MgCl_2 tidak dapat dihilangkan dengan pemanasan.
- 3) Lihat kembali Tabel 1.4 Standar umum air untuk industri makanan dan Tabel 1.5 Ambang toleransi maksimal dari komposisi air untuk beberapa industri makanan. Jadi, persyaratan umum air untuk industri makanan, yaitu tidak berwarna, tidak berbau, jernih, tidak mempunyai rasa, dan tidak mengganggu kesehatan.

- 4) Ada 3 jenis air yang terikat secara fisik, yaitu air kapiler, air terlarut, dan air adsorpsi. Coba Anda lihat dan cermati pada submateri air terikat secara fisik.
- 5) Ada 4 tipe molekul air berdasarkan derajat keterikatannya dalam bahan makanan, yaitu air tipe I yang mempunyai derajat pengikatan sangat besar dan tidak dapat membeku. Air tipe II terdapat dalam mikrokapiler. Air tipe I dan II terikat secara kimia dan sukar dihilangkan dari bahan makanan. Air tipe III terikat secara fisik dan disebut air bebas, sedangkan air tipe IV adalah air yang tidak terikat dalam jaringan suatu bahan disebut juga air murni.



RANGKUMAN

Pada keadaan suhu normal, air berada dalam fase cair, dan dalam keadaan tertentu air terdapat dalam tiga bentuk keseimbangan, yaitu cair-padat-uap. Volume air mengalami penyusutan apabila didinginkan. Panas jenis, panas laten penguapan, dan konstanta dielektrik air relatif lebih besar dibandingkan dengan bahan-bahan lain. Air tidak mempunyai rasa, bau, dan warna. Adanya rasa, bau, dan warna pada air disebabkan oleh adanya zat-zat terlarut di dalamnya.

Air merupakan suatu zat organik yang terdiri dari dua buah atom hidrogen yang berikatan kovalen dengan sebuah atom oksigen, dengan rumus molekul H_2O . Molekul air bersifat dipolar, yaitu mempunyai kutub positif dan kutub negatif. Daya tarik-menarik di antara kutub positif sebuah molekul air dengan kutub negatif molekul air lainnya menyebabkan terjadinya penggabungan molekul-molekul air melalui ikatan hidrogen.

Kesadahan air dapat dibagi atas kesadahan sementara dan kesadahan tetap. Berdasarkan derajat kesadahannya, air dibagi menjadi air lunak, air agak sadah, air sadah, dan air sangat sadah. Sifat-sifat kimia air lainnya sangat erat kaitannya dengan kadar mineral, logam, gas-gas terlarut dan kesadahan air tersebut.

Air untuk industri makanan minimal harus memenuhi standar mutu yang diperlukan untuk air minum. Air untuk industri makanan pada umumnya harus memenuhi persyaratan tidak berwarna, tidak berbau, jernih, tidak mempunyai rasa, dan tidak mengganggu kesehatan.

Konsep tentang tipe air dalam bahan makanan banyak jenisnya. Secara konvensional, air dalam bahan makanan dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu air terikat secara fisik, air terikat secara kimia, dan air bebas. Air terikat secara fisik sedikitnya ada tiga jenis, yaitu air kapiler, air terlarut, dan air absorpsi;

sedangkan air terikat secara kimia sedikitnya ada dua jenis, yaitu air kristal dan air konstitusi. Berdasarkan derajat keterikatan air dalam bahan makanan, molekul air dibagi atas empat tipe, yaitu tipe I, II, III, dan IV.



TES FORMATIF 1 _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Kelompok bahan makanan yang mengandung kadar air tinggi (di atas 85%) adalah
 - A. buah-buahan dan sayuran
 - B. daging ayam dan daging sapi
 - C. beras dan kedelai
 - D. tepung terigu dan tapioka

- 2) Untuk memperoleh air murni adalah sesuatu yang sangat sulit walaupun telah disuling beberapa kali. Hal ini berkaitan dengan sifat air berikut
 - A. panas jenis
 - B. panas laten penguapan
 - C. tekanan uap
 - D. tetapan dielektrik

- 3) Ikatan kimia antara dua buah atom hidrogen dengan sebuah atom oksigen sehingga membentuk molekul air disebut ikatan
 - A. kovalen
 - B. hidrogen
 - C. Van der Waals
 - D. ion

- 4) Ikatan hidrogen dapat terjadi antara molekul air dengan molekul/senyawa berikut, *kecuali*
 - A. molekul air lainnya
 - B. senyawa metanol
 - C. senyawa karbohidrat
 - D. senyawa protein

- 5) Air yang digunakan dalam proses pengolahan bahan makanan adalah air yang mempunyai nilai kesadahan
 - A. < 50 ppm
 - B. 50 - 80 ppm

- C. 80 - 200 ppm
D. > 200 ppm
- 6) Tahapan yang memerlukan air bebas hama (bakteri) pada proses pengalengan makanan, yaitu
A. pencucian bahan mentah
B. pendinginan kaleng
C. pembangkit uap
D. pembersihan pabrik
- 7) Air yang merupakan keseimbangan dari uap air yang ada di udara sekelilingnya sehingga jumlahnya dipengaruhi oleh kelembaban dan suhu lingkungan disebut air
A. kapiler
B. terlarut
C. adsorpsi
D. kristal
- 8) Air yang terbentuk pada reaksi kimia:
 $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$, termasuk ke dalam air
A. kristal
B. terlarut
C. konstitusi
D. adsorpsi
- 9) Apabila air dalam bahan makanan diuapkan suhunya sehingga kadar air dalam bahan makanan tersebut mencapai 12 - 25% maka berdasarkan derajat keterikatannya air tersebut termasuk ke dalam tipe
A. I
B. II
C. III
D. IV
- 10) Maksud dari air kristal adalah
A. air yang terdapat dalam bentuk hidrat, dibentuk oleh garam-garam mineral pada bahan makanan, dan terikat sebagai molekul-molekul H_2O
B. air yang terikat secara kimia dengan senyawa bahan makanan dan merupakan bagian dari molekul senyawa padatan tertentu

- C. air yang terikat dalam jaringan-jaringan matriks bahan makanan, seperti membran kapiler dan serat
- D. air yang terdapat dalam bahan padat dan seakan-akan larut dalam bahan tersebut

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

Sifat Hidratasi Bahan Makanan

Sifat hidratasi bahan makanan adalah sifat-sifat fisik bahan tersebut yang meliputi interaksi antara bahan makanan dengan molekul air yang terkandung di dalamnya dan molekul air di udara sekitarnya.

Peranan air dalam bahan makanan dapat dinyatakan sebagai kadar air dan aktivitas air (a_w), sedangkan peranan air di udara dinyatakan dengan kelembaban relatif (RH) dan kelembaban mutlak (H).

A. KADAR AIR

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 daripada air. Contoh (*sample*) dimasukkan dalam tabung bola (*flask*), kemudian dipanaskan. Air dan pelarut menguap, diembunkan, dan jatuh pada tabung *Aufhauser* yang berskala, 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 dengan kadar gula tinggi, kadar airnya dapat diukur dengan menggunakan refraktometer di samping menentukan padatan terlarutnya pula. Dalam hal ini, air dan gula dianggap sebagai komponen-komponen yang mempengaruhi indeks refraksi

Di samping cara-cara fisik, ada pula cara-cara kimia untuk menentukan kadar air. Mc Neil mengukur kadar air berdasarkan volume gas asetilen yang dihasilkan dari reaksi kalsium karbida dengan bahan yang akan diperiksa. Cara ini dipergunakan untuk bahan-bahan, seperti sabun, tepung, kulit, bubuk biji vanili, mentega dan sari buah. Karl Fischer pada tahun 1935 menggunakan cara pengeringan berdasarkan reaksi kimia air dengan titrasi langsung dari basa dengan larutan iodine, sulfur dioksida, dan piridina dalam methanol. Perubahan warna menunjukkan titik akhir titrasi.

1. Penetapan Kandungan 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:

$$m = \frac{W_m}{W_m + W_d} \times 100\% \quad (1.1)$$

atau

$$m = \frac{W_m}{W_t} \times 100\% \quad (1.2)$$

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:

$$M = \frac{W_m}{W_d} \times 100\% \quad (1.3)$$

atau

$$M = \frac{100 \cdot m}{100 - m} \% \quad (1.4)$$

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 (%)

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.

Contoh perhitungan:

Apabila 2 ton kedelai dengan kadar air 25% (berat basah) akan dikeringkan sampai kadar air 14% (berat basah).

Tentukan:

- (1) Berat bahan kering dan berat air yang diuapkan dari kacang kedelai tersebut!
- (2) Kadar air berat kering sebelum dan setelah pengeringan!

Penyelesaian:

- (1) Berat bahan kering dan berat air yang diuapkan

$$\text{Jumlah air awal} = \frac{25}{100} \times 2000 \text{ kg} = 500 \text{ kg}$$

Jadi, berat bahan kering (W_d) = $(2000 - 500) \text{ kg} = 1500 \text{ kg}$

Berat bahan pada kadar air akhir 14 persen dapat ditentukan dengan memodifikasi persamaan (1.1) sebagai berikut:

$$= \frac{1500 \times 100}{100 - 14} = 1744 \text{ kg}$$

Jadi, berat air yang diuapkan = $(2000 - 1744) \text{ kg} = 256 \text{ kg}$

- (2) Kadar air berat kering

Kadar air berat kering dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1.3).

Kadar air berat kering sebelum pengeringan

$$= \frac{500}{1500} \times 100\% = 33,33\%$$

Berat air dalam bahan setelah pengeringan

$$= (500 - 256) \text{ kg} = 254 \text{ kg}$$

Kadar air berat kering setelah pengeringan

$$= \frac{254}{1500} \times 100\% = 16,93\%$$

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

Misalnya, tekstur permukaan bawang merah akan berubah karena perubahan kadar air



Gambar 1.3.

B. AKTIVITAS AIR

Dalam bahan makanan, peranan air terutama sebagai pelarut yang digunakan selama proses metabolisme. Tingkat mobilitas dan peranan air bagi proses kehidupan biasanya dinyatakan dengan besaran aktivitas air (*water activity* = a_w). Aktivitas air merupakan salah satu parameter hidrasi yang sering diartikan sebagai jumlah air dalam bahan makanan yang dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroba. 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 $a_w = 0,60 - 0,70$.

Kandungan air suatu bahan makanan tidak dapat digunakan sebagai indikator nyata dalam menentukan ketahanan simpan. 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 sukar digunakan untuk aktivitas mikrobiologis maupun aktivitas kimia hidrolitik.

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

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

di mana:

n_1 = jumlah mol pelarut

n_2 = jumlah mol zat terlarut

$n_1 + n_2$ = jumlah mol larutan

Contoh perhitungan:

Apabila diketahui berat molekul glukosa = 180 dan NaCl = 58,5, serta berat jenis larutan = 1. Dengan menggunakan hukum Roult, tentukan:

(1) a_w larutan glukosa 10 % (b/b)?

(2) a_w larutan NaCl 10% (b/b)?

Penyelesaian:

(1) Larutan glukosa 10% (b/b) berarti dalam 1000 gram larutan terdapat 100 gram glukosa dan 900 gram air.

$$n_{\text{glukosa}} = \frac{100}{180} = 0,56 \text{ mol}$$

$$n_{\text{air}} = \frac{900}{18} = 50 \text{ mol}$$

$$\text{Jadi } a_w \text{ larutan glukosa} = \frac{50}{50 + 0,56} = 0,989$$

(2) Larutan NaCl 10% (b/b) berarti dalam 1000 gram larutan terdapat 100 gram NaCl dan 900 gram air.

NaCl dalam air akan terionisasi menjadi Na^+ dan Cl^-

$$n_{\text{NaCl}} = \frac{100}{58,5} = 1,71 \text{ mol}$$

$$n_{\text{Na}^+} = n_{\text{Cl}^-} = 1,71 \text{ mol}$$

$$n_{\text{air}} = \frac{900}{18} = 50 \text{ mol}$$

$$\text{Jadi, } a_w \text{ larutan NaCl} = \frac{50}{50 + 1,17 + 1,17} = 0,936$$

C. KELEMBABAN RELATIF DAN KELEMBABAN MUTLAK

Kelembaban relatif atau kelengasan nisbi didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan parsial uap air terhadap tekanan uap jenuh pada suhu tertentu.

$$RH = \left[\frac{P}{P_s} \right]_T \times 100\% \quad (1.5)$$

di mana:

RH = kelembaban relatif (%)

P = tekanan uap air (atm)

P_s = tekanan uap air jenuh (atm)

T = suhu atmosfer (°C)

Dalam keadaan setimbang dengan bahan makanan maka hubungan antara aktivitas air dengan kelembaban relatif dapat ditulis sebagai berikut:

$$a_w = \frac{RH_s}{100} = \frac{P}{P_s} \quad (1.6)$$

di mana:

P_s = tekanan uap jenuh (atm)

RH_s = kelembaban relatif dalam keadaan kesetimbangan (%)

Berbagai jenis larutan garam jenuh yang dapat digunakan untuk mengontrol aktivitas air dan kelembaban relatif dalam keadaan kesetimbangan disajikan pada Tabel 1.6.

Selain kelembaban relatif, dikenal pula kelembaban mutlak (H) yang didefinisikan sebagai besaran yang digunakan untuk menentukan jumlah uap air di udara.

Tabel 1.6.
Aktivitas Air dari Berbagai Larutan Garam Jenuh

Jenis Larutan Garam Jenuh	20°C	25°C	30°C
NaOH	0.0698	0.0695	0.0687
LiCl	0.1114	0.1115	0.1116
KC ₂ H ₃ O ₂ (1.5H ₂ O)	0.2310	0.2260	0.2200
MgCl ₂	0.3030	0.3273	0.3238
NaI	0.3918	0.3775	0.3625
Mg(NO ₃) ₂	0.5447	0.5286	0.5133
KI	0.6986	0.6876	0.6785
NaNO ₃	0.7513	0.7379	0.7275
NaCl	0.7542	0.7532	0.7521
KBr	0.8177	0.8071	-
KCl	0.8513	0.8432	0.8353
Na ₂ SO ₄	0.8690	0.8595	0.8640
K ₂ CrO ₄	0.8660	0.8640	0.8630
BaCl ₂	0.9069	0.9026	-
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.9220	0.9270	0.9110
K ₂ SO ₄	0.9720	0.9690	0.9660
K ₂ Cr ₂ O ₇	0.9793	0.9800	0.9706

Sumber: Syarief dan Irawati (1988).

Untuk menentukan kelembaban relatif dan kelembaban mutlak dapat digunakan kurva *Psikhrometrik*, yaitu dengan mengukur suhu udara kering dan suhu udara basah. Pengukuran suhu udara kering dilakukan dengan meletakkan termometer di udara, sedangkan suhu udara basah diukur dengan menggunakan termometer yang ujungnya dibungkus dengan kapas basah. Berbagai alat pengukur kelembaban relatif yang secara langsung dapat digunakan dengan ketelitian cukup tinggi, antara lain *sling psychrometer* dan *higrometer*.

Penggunaan *kurva Psikrometrik* (Gambar 1.3) dapat dijelaskan sebagai berikut: Apabila diketahui suhu udara bola kering = 30°C, dan suhu udara bola basah = 21°C maka langkah-langkah penggunaan kurva psikrometrik dalam menentukan kelembaban relatif (RH) dan kelembaban mutlak (H) adalah:

- (1) Tentukan posisi 30°C pada skala suhu bola kering (*dry-bulb*) pada bagian bawah kurva.
- (2) Tarik garis lurus dengan 30°C mengikuti garis kurva ke atas.
- (3) Tarik garis lurus dengan posisi 21°C suhu udara basah (*wet-bulb*) mengikuti garis skala suhu bola basah.
- (4) Tentukan perpotongan antara kedua garis tersebut pada satu titik.

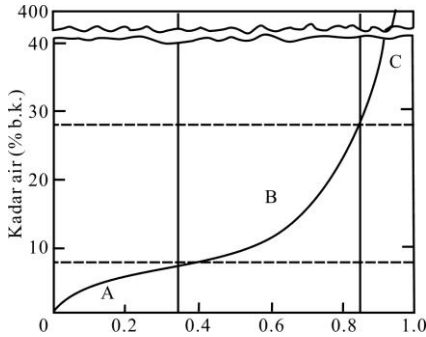
- (5) Tentukan besarnya nilai kelembaban relatif pada titik tersebut, dengan mengikuti garis RH secara diagonal. Berdasarkan pembacaan kurva psikrometrik diperoleh nilai RH sebesar 45%.
- (6) Tentukan besarnya nilai kelembaban mutlak (H), dengan menarik garis secara horizontal ke arah kanan. Titik potong dengan garis vertikal menunjukkan nilai H sebesar 0,012 kg kandungan air per kg udara kering.

D. KURVA SORPSI ISOTERMIK

Bahan makanan secara alami bersifat higroskopis, yaitu dapat menyerap air dari udara sekelilingnya dan juga dapat melepaskan sebagian air yang terkandung ke udara. Secara umum, sifat hidratisasi ini digambarkan dengan kurva isotermik, yaitu kurva yang menunjukkan hubungan antara kadar air bahan dengan kelembaban relatif keseimbangan ruangan tempat penyimpanan bahan (RH_s) atau aktivitas air (a_w) pada suhu tertentu (Gambar 1.4). Istilah sorpsi air digunakan untuk penggabungan air ke dalam bahan makanan.

Bentuk sorpsi isotermik air khas untuk setiap bahan makanan. Isotermik ini dibagi menjadi beberapa bagian, tergantung pada keadaan air dalam bahan makanan. Pada Gambar 1.4, daerah A menyatakan adsorpsi air bersifat satu lapis molekul air (monolayer), daerah B menyatakan terjadinya penambahan lapisan-lapisan di atas satu lapis molekul air tersebut (multilayer), dan di daerah C kondensasi air pada pori-pori bahan makanan mulai terjadi (kondensasi kapiler).

Pada umumnya, kurva sorpsi isotermik 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*.



Sumber: Syarief (1993).

Gambar 1.4.

Daerah A, B, dan C pada Sorpsi Isotermik Air suatu Bahan Pangan

Sorpsi isotermik 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 berapa pun. 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 persen, sedangkan daerah teraman pada kisaran RH 20 - 55%. Daerah kondensasi kapiler (RH > 70%) mengandung air bebas yang cukup banyak sehingga sangat optimal bagi 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. Secara matematik, kadar air keseimbangan dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut (Henderson *dalam* Syarief, 1993):

$$1 - RH = \exp(-kM^n) \quad (1-7)$$

di mana:

RH = kelembaban relatif udara (%)

M = kadar air keseimbangan berat kering (%)

k dan n = konstanta



LATIHAN

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

- 1) Apabila 2 ton jagung pipil dengan kadar air 18% (berat basah) akan dikeringkan sampai kadar air 14% (berat basah). Tentukan:
 - a) Berat bahan kering dan berat air yang diupkan dari jagung tersebut!
 - b) Kadar air berat kering sebelum dan setelah pengeringan!
- 2) Apabila diketahui berat molekul sukrosa = 342 dan $K_2SO_4 = 174$, serta berat jenis larutan = 1. Dengan menggunakan hukum Roult, tentukan:
 - a) a_w larutan sukrosa 20% (b/b)?
 - b) a_w larutan K_2SO_4 10% (b/b)?
- 3) Tentukan kelembaban relatif dan kelembaban mutlak dengan menggunakan kurva psikrometrik apabila diketahui bahwa hasil pengukuran menunjukkan suhu udara bola kering = 35°C dan suhu udara bola basah = 28°C
- 4) Jelaskan apa yang dimaksud dengan fenomena histerisis (Catatan: Penjelasan harus dilengkapi dengan gambar sorpsi isotermik).

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Anda lihat dan cermati kembali cara penyelesaian contoh soal penentuan kadar air maka akan diperoleh berat bahan kering dan berat air yang diupkan, yaitu 1907 Kg dan 93 Kg. Sedangkan kadar air sebelum dan setelah pengeringan yaitu 21,95% dan 16,28%.
- 2) a) Hitung mol sukrosa dan mol air pada kadar larutan sukrosa 20%. $n_{\text{sukrosa}} = 0,58$ mol dan $n_{\text{air}} = 44,44$ mol. Maka, a_w larutan sukrosa dihitung dengan membagi mol sukrosa dengan mol gabungan (mol larutan sukrosa). a_w larutan sukrosa 20% = 0,987.

- b) Ikutilah langkah 2a maka diperoleh $n_{K_2SO_4} = 0,57$ mol dan $n_{air} = 50$ mol.

$$\text{maka } a_w \text{ larutan } K_2SO_4 = \frac{50}{50 + (2 \times 0,57) + 0,57} = 0,967$$

- 3) Coba Anda ikuti 6 langkah penggunaan kurva psikrometrik maka harga kelembaban relatif dan kelembaban mutlak pada suhu bola kering 35°C dan suhu bola basah 28°C dapat ditentukan.
- 4) Anda cermati dan kaji kembali istilah kurva isotermik, adsorpsi, desorpsi, bentuk kurva sorpsi isotermik serta Gambar 1.4 maka Anda dapat menjelaskan yang dimaksud dengan fenomena histerisis.



RANGKUMAN

Peranan air dalam bahan makanan dapat dinyatakan sebagai kadar air dan aktivitas air, sedangkan peranan air di udara dinyatakan dengan kelembaban relatif dan kelembaban mutlak. Kadar air suatu bahan adalah persentase kandungan air dalam suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah atau berdasarkan berat kering. Aktivitas air merupakan salah satu parameter hidratisasi yang diartikan sebagai jumlah air dalam bahan makanan yang dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroba. Menurut hukum Roult, aktivitas air berbanding lurus dengan jumlah mol pelarut dan berbanding terbalik dengan jumlah mol di dalam larutan.

Kelembaban relatif (kelembaban nisbi) didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan parsial uap air terhadap tekanan uap jenuh pada suhu tertentu, sedangkan kelembaban mutlak adalah besaran yang digunakan untuk menentukan jumlah uap air di udara. Untuk menentukan kelembaban relatif dan kelembaban mutlak dapat digunakan kurva psikrometrik, yaitu dengan mengukur suhu udara kering dan suhu udara basah.

Kurva isotermik merupakan kurva yang menunjukkan hubungan antara kadar air bahan dengan kelembaban relatif kesetimbangan ruangan tempat penyimpanan bahan (RH_s) atau aktivitas air (a_w), pada suhu tertentu. Pada umumnya kurva sorpsi isotermik berbentuk *sigmoid*. 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 ini disebut *fenomena histerisis*.

**TES FORMATIF 2**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Apabila diketahui kadar air kacang tanah 30% (berat basah) maka kadar air berat kering kacang tanah tersebut adalah
 - A. 42,86 %
 - B. 70,00 %
 - C. 142,86 %
 - D. 333,33 %

- 2) Apabila 500 kg kacang tanah dengan kadar air 30% (berat basah) akan dikeringkan sampai kadar air 14% (berat basah) maka berat air yang diuapkan adalah
 - A. 80 kg
 - B. 93 kg
 - C. 150 kg
 - D. 163 kg

- 3) Dari soal nomor 2, kadar air berat kering setelah pengeringan adalah
 - A. 11,40 %
 - B. 16,00 %
 - C. 16,28 %
 - D. 18,60 %

- 4) Apabila batas a_w bakteri = 0,85 dan kadar air ikan jambal = 30 % berat basah maka kadar garam ikan jambal agar tidak ditumbuhi bakteri, adalah
 - A. 7,31% (b/b)
 - B. 8,63% (b/b)
 - C. 14,20% (b/b)
 - D. 17,25% (b/b)

- 5) Jumlah gula pasir yang harus ditambahkan dalam 1000 gram air agar tercapai $a_w = 0,95$ adalah
 - A. 250 gram
 - B. 500 gram
 - C. 500 gram
 - D. 1000 gram

- 6) Berdasarkan hasil pengukuran diketahui bahwa suhu udara bola kering = 40°C dan suhu udara bola basah = 30°C maka besarnya nilai kelembaban relatif adalah
- A. 42%
 - B. 47%
 - C. 52%
 - D. 57%
- 7) Dari soal nomor 6 besarnya nilai kelembaban mutlak adalah
- A. 0,021 kg H_2O /kg udara kering
 - B. 0,022 kg H_2O /kg udara kering
 - C. 0,023 kg H_2O /kg udara kering
 - D. 0,024 kg H_2O /kg udara kering
- 8) Apabila garam KBr (a_w dalam keadaan jenuh = 0,8177) digunakan untuk mengontrol aktivitas air dan kelembaban relatif dalam keadaan seimbang maka besarnya kelembaban relatif dalam keadaan seimbang tersebut adalah
- A. 0,8177%
 - B. 1,6354%
 - C. 16,35 %
 - D. 81,77 %
- 9) Keadaan di mana grafik penyerapan uap air dari udara oleh bahan makanan dan grafik pelepasan uap air oleh bahan makanan ke udara tidak berimpit, disebut peristiwa
- A. adsorpsi
 - B. desorpsi
 - C. histerisis
 - D. sorpsi isotermik
- 10) Daerah kondensasi kapiler pada kurva isotermik berada pada kisaran RH
- A. 0 - 20%
 - B. 20 - 50%
 - C. 50 - 70%
 - D. > 70%

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. Kadar air buah-buahan dan sayuran umumnya di atas 85%, daging ayam dan daging sapi (60-70%), sedangkan beras, kedelai, tepung terigu dan tapioka (12 - 14%).
- 2) D. Nilai konstanta dielektrik air lebih besar dibandingkan benda lainnya. Hal ini menyebabkan air mudah mengikat senyawa lain sehingga air sangat sulit dimurnikan.
- 3) A. Air adalah suatu zat organik yang terdiri dari dua buah atom hidrogen yang berikatan kovalen dengan sebuah atom oksigen.
- 4) D. Ikatan hidrogen terjadi antara molekul air dengan molekul air lainnya atau molekul air dengan senyawa lain yang mempunyai kutub O atau N, seperti senyawa metanol atau karbohidrat yang mempunyai gugus OH (hidroksil).
- 5) B. Air dengan nilai kesadahan < 50 ppm merupakan air lunak yang bersifat korosif, sedangkan air dengan kesadahan > 80 ppm memerlukan banyak sabun apabila digunakan untuk mencuci.
- 6) B. Pada proses pengalengan makanan, tahapan yang memerlukan air bebas hama dengan penambahan chlorine terutama pada tahap pendinginan kaleng.
- 7) C. Air adsorpsi adalah air yang terikat pada permukaan dan merupakan keseimbangan dari uap air yang ada di udara sekelilingnya
- 8) C. Air yang terikat secara kimia dengan senyawaan bahan makanan, dan merupakan bagian dari molekul senyawa padatan tertentu termasuk ke dalam air konstitusi.
- 9) C. Apabila air Tipe III seluruhnya dihilangkan maka kadar air bahan makanan sekitar 12 - 25%
- 10) A. Air kristal adalah air yang terdapat dalam bentuk kristal (hidrat) yang ditentukan oleh garam-garam mineral pada bahan makanan, dan terikat sebagai molekul-molekul dalam bentuk H₂O.

Tes Formatif 2

- 1) A. $m = 30 \% \text{ (b/b)}$
 maka $M = \frac{100 \cdot m}{100 - m} = \frac{100 \cdot 30}{100 - 30} = 42,86\%$

- 2) B. Jumlah air awal = $\frac{30}{100} \times 500 \text{ kg} = 150 \text{ kg}$
 Jadi, berat bahan kering (W_d) = $(500 - 150) \text{ kg} = 350 \text{ kg}$
 Berat air dalam bahan pada kadar air 14%
 $(W_m) = \frac{350 \times 100}{100 - 14} = 407 \text{ kg}$
 Jadi, berat air yang menguap = $(500 - 407) \text{ kg} = 93 \text{ kg}$
- 3) C. Berat air dalam bahan setelah pengeringan = $(150 - 93) \text{ kg} = 57 \text{ kg}$
 Jadi, kadar air berat kering setelah pengeringan
 $= \frac{57}{350} \times 100\%$
 $= 16,28 \%$
- 4) A. $m = 30 \%$ (b/b) berarti dalam 1000 gram ikan jambal terdapat 300 gram air dan 700 gram berat bahan kering.
 $n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{300}{18} = 1,67 \text{ mol}$ dan $a_w = 0,85$
 maka, $0,85 = \frac{1,67}{2n_{\text{NaCl}} + 1,67}$
 $2n_{\text{NaCl}} = 2,50 \text{ mol} \rightarrow n_{\text{NaCl}} = 1,25 \text{ mol} = 73,125 \text{ g NaCl}$ dalam 100g ikan jambal
 Jadi, kadar garam dalam ikan jambal = 7,31 % (b/b)
- 5) D. $n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1000}{18} = 55,56 \text{ mol}$; dan $a_w = 0,95$
 maka $0,95 = \frac{55,56}{n_{\text{gula pasir}} + 55,56}$
 $n_{\text{gula pasir}} = 2,92 \text{ mol} = 1000 \text{ gram}$
- 6) B. Tentukan titik perpotongan antara garis lurus dengan posisi 40°C pada skala suhu bola kering dan garis lurus dengan posisi 31°C pada skala suhu bola basah. Dengan menarik garis RH secara diagonal diperoleh nilai RH = 47 %.
- 7) C. Dengan menarik garis secara horizontal diperoleh nilai H sebesar 0,023 kg H₂O/kg udara kering.
- 8) D. dalam keadaan setimbang:
 $a_w = \frac{RH_s}{100}$ maka $RH_s = a_w \times 100 \% = 0,8177 \times 100 \% = 81,77\%$

- 9) C. Histerisis: keadaan di mana grafik penyerapan uap air dari udara oleh bahan makanan dan pelepasan uap air oleh bahan makanan ke udara tidak berimpit.
- 10) D. $RH > 70\%$: daerah kondisi kapiler.

Daftar Pustaka

- Adnan, Mochamad. (1982). *Aktivitas Air dan Kerusakan Bahan Makanan*. Jakarta: Penerbit Agritech.
- De Mann, J. M. (1980). *Principles of Food Chemistry*. Westport, Connecticut: The AVI Publishing Company, Inc.
- Fennema, O.R. (1985). *Food Chemistry*. New York: Merceel Dekker Inc.
- Gaman, P.M. dan K.B. Sherrington. (1992). *Pengantar Ilmu Pangan, Nutrisi dan Mikrobiologi*. Edisi kedua. Terjemahan M. Gardjito, *et.al*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sakidja. (1989). *Kimia Pangan*. Jakarta: Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan. Dirjen Pendidikan Tinggi Depdikbud.
- Syarief, Rizal dan Anies Irawati. (1988). *Pengetahuan Bahan untuk Industri Pertanian*. Jakarta: Mediyatama Sarana Perkasa.
- Syarif, Rizal dan Hariyadi Halid. (1993). *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Jakarta: Penerbit Arcan.
- Winarno, F.G. (1988). *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Gramedia.