

Satuan, Dimensi, dan Keseimbangan Massa

Dr. Ir. Purwiyatno Hariyadi, M.Sc.
Dr. Ir. Feri Kusnandar, M.Sc.



PENDAHULUAN

Ɖalam mempelajari rekayasa proses pangan, selain memahami tentang operasi matematika dan prinsip-prinsip matematika (dalam bentuk persamaan matematika atau gambar/grafik) dan aplikasinya dalam pengolahan pangan, hal lain yang harus dipahami adalah satuan dan dimensi. Hampir seluruh perhitungan dalam mata kuliah ini akan melibatkan satuan dan dimensi sehingga menjadi sangat penting mengetahui satuan dan dimensi apa saja yang sering digunakan dalam perhitungan. Berdasarkan pengalaman selama ini, salah satu kesalahan yang sering kali terjadi adalah kesalahan dalam menggunakan satuan dan dimensi pada proses perhitungan. Oleh karena itu, sebelum melangkah ke modul-modul selanjutnya pemahaman dan aplikasi satuan serta dimensi ini harus diperkuat. Materi satuan dan dimensi juga dapat Anda peroleh dalam mata kuliah Fisika Dasar sehingga yang dibahas di sini berupa *review* dan aplikasinya dalam rekayasa proses pangan.

Dalam proses pengolahan pangan, akan terlibat bahan-bahan baik tunggal maupun campuran yang masuk ke dalam tahapan proses. Sesuai dengan teori kekekalan massa maka bahan yang masuk ke dalam dan keluar dari proses akan tetap, hanya berubah bentuknya dari wujud yang satu ke wujud yang lain. Namun dalam praktiknya, kita mungkin tidak menemukan total *input* yang sama dengan total *output* karena sering kali dalam proses tidak bisa dihindarkan adanya akumulasi sisa bahan pada alat atau kehilangan bahan yang tidak terkontrol. Dalam modul ini, akan dibahas prinsip-prinsip keseimbangan massa dan aplikasinya dalam proses pangan dengan asumsi tidak terjadi bahan yang hilang atau terakumulasi pada alat pengolahan.

Fokus pembahasan dalam Modul 1 adalah satuan, dimensi, dan prinsip-prinsip keseimbangan massa dalam rekayasa proses pangan. Pembahasan dibagi menjadi dua kegiatan belajar, yaitu sebagai berikut.

1. Satuan dan Dimensi.
2. Keseimbangan Massa.

Setelah mempelajari Modul 1 ini Anda diharapkan akan dapat menjelaskan prinsip-prinsip satuan dan dimensi pada operasi keteknikan. Selain itu, Anda diharapkan akan mampu menggunakan analisis satuan dan dimensi dalam menyelesaikan soal keteknikan (kasus industri pangan). Dalam hal materi keseimbangan massa, diharapkan Anda dapat menjelaskan prinsip/konsep keseimbangan massa, aplikasinya dalam pengolahan pangan, serta dapat melakukan perhitungan-perhitungan keseimbangan massa yang berkaitan dengan proses pengolahan pangan.

KEGIATAN BELAJAR 1**Satuan dan Dimensi**

☉ Dalam rekayasa proses (keteknikan) pangan, penggunaan ukuran dan satuan pengukuran merupakan hal yang tidak dapat dihindarkan. Dalam bidang keteknikan, besaran angka tanpa satuan tidak memberikan arti dan dapat menimbulkan kesalahan interpretasi. Contohnya, apabila kita menyatakan panjang dari balok kayu adalah 6 saja tanpa satuan maka penafsirannya dapat berbeda-beda, apakah 6 cm, 6 m, 6 feet.

Suatu besaran angka akan berarti kalau memenuhi tiga aspek, yaitu besar bilangannya, ada ukurannya dan ada satuan ukurannya. Contohnya, apabila dinyatakan balok kayu panjang 6 meter berarti besar bilangannya 6, ukurannya adalah panjang, dan satuannya meter. Dengan terpenuhinya ketiga aspek tersebut maka kita akan memperoleh informasi yang jelas terhadap dimensi dan ukuran benda tersebut.

A. DEFINISI DASAR

Beberapa definisi yang berkaitan dengan besaran pengukuran adalah sebagai berikut.

1. Dimensi

Suatu konsep dasar untuk memberikan deskripsi atas suatu entitas fisik dari benda, seperti dimensi panjang, dimensi massa, dimensi suhu. Dimensi sering ditulis dalam bentuk simbol, seperti L = panjang, M = berat, T = suhu, t = waktu.

2. Satuan (Unit)

Suatu cara untuk menyatakan deskripsi kuantitatif dari suatu dimensi. Contohnya, satuan dari dimensi panjang adalah meter, kaki (*feet*), inci, sentimeter, kilometer, dan seterusnya; satuan dari dimensi massa adalah kilogram, gram, *pound*, ton dan seterusnya; satuan dari dimensi waktu adalah detik, menit, jam, hari, dan seterusnya; satuan dari dimensi suhu adalah Celcius, Kelvin, Fahrenheit. Satuan biasanya ditulis dalam bentuk simbol, seperti cm, in, ft (satuan panjang), kg, g, lb (satuan berat), s (satuan waktu), °C, °K, °F (satuan suhu).

Satuan dibagi dua menjadi satuan dasar dan satuan turunan. Satuan dasar (*base unit*) adalah unit yang dimensinya bebas (tidak tergantung pada unit lain) dan hanya menunjukkan satu satuan dimensi. Contohnya, detik, meter, gram. satuan turunan (*derived unit*) adalah satuan ukuran yang merupakan kombinasi dari beberapa dimensi sehingga melibatkan beberapa unit dasar. Contohnya, satuan dari dimensi tekanan melibatkan dimensi dari massa, panjang, dan waktu sedangkan satuan dari dimensi kecepatan melibatkan dimensi panjang dan waktu.

3. Sistem Pengukuran

Seperti dijelaskan di atas, suatu dimensi pengukuran dapat dinyatakan dengan berbagai satuan. Contohnya, dimensi panjang dapat dinyatakan dengan meter, sentimeter, feet, inci. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya perbedaan sistem pengukuran yang digunakan.

Pada dasarnya satuan dimensi dapat dikelompokkan menjadi 2 golongan besar, yaitu sistem Inggris dan sistem metrik. Sistem Inggris dikelompokkan menjadi 3 sistem, yaitu sistem absolut (*absolute engineering*), keteknikan Inggris (*British engineering*) dan keteknikan Amerika (*American engineering*). Sistem *absolute engineering* umumnya digunakan untuk suatu kegiatan ilmiah, sistem *British engineering* umumnya untuk kegiatan industri, sedangkan sistem *American engineering* biasanya digunakan baik untuk tujuan kegiatan ilmiah maupun kegiatan industri, khususnya di Amerika Serikat. Sistem metrik dikelompokkan menjadi tiga sistem, yaitu sentimeter gram detik (cgs), meter kilogram detik (MKS), dan Sistem Internasional (SI). Sistem internasional (SI) bersifat universal karena banyak dipakai baik untuk tujuan ilmiah maupun kegiatan industri sehingga penggunaannya sangat luas. Tabel 1.1 memperlihatkan beberapa dimensi pengukuran dan satuan yang digunakan dalam sistem pengukuran.

B. SATUAN DALAM SI DAN SIMBOLNYA

Semua dimensi dapat dinyatakan dengan satuan dasar atau satuan turunan yang terdiri dari gabungan satuan-satuan. Banyak satuan yang kompleks, terbentuk dari persamaan yang dihasilkan

dari penggabungan beberapa satuan, dapat dipakai untuk menunjukkan beberapa hubungan baru. Tabel 1.2 menunjukkan hubungan satuan dasar, satuan turunan dan simbol-simbol dalam SI.

Tabel 1.1.
Sistem Pengukuran Inggris dan Metrik

Sistem	Penggunaan	Panjang	Massa	Waktu	Suhu	Gaya	Energi
Sistem Inggris							
<i>English absolute</i>	Ilmiah	Kaki (foot)	Pound mass	Detik	°F	Poundal	BTU ft
<i>British engineering</i>	Industri	Kaki (foot)	Slug	Detik	°F	Pound gaya (lbf)	BTU ft
<i>American engineering</i>	Industri (AS)	Kaki (foot)	Pound mass	Detik	°F	Pound gaya (lbf)	BTU ft
Sistem metrik							
Cgs	Ilmiah	Sentimeter	Gram	Detik	°C	Dyne	Calorie, erg
MKS	Industri	Meter	Kilogram	Detik	°C	Kilogram gaya	Kilokalori, joule
SI	Universal	Meter	Kilogram	Detik	°K	Newton	Joule

Tabel 1.2.
Satuan SI (Satuan Dasar dan Satuan Turunan)

Entitas Fisik	Nama Satuan	Simbol	Formula
Satuan Dasar			
Panjang	meter	m	-
Massa	kilogram	kg	-
Suhu	kelvin	K	-
Waktu	detik (second)	s	-
arus listrik	amper	A	-
Jumlah zat	mol	mol	-
Intensitas cahaya	lilin (candela)	cd	
Frekuensi	Hertz	s ⁻¹ (Hz)	-
Satuan turunan			
Gaya	Newton	N	Kg/ms ²
Tekanan	Pascal	Pa	Kg.m ² /s ²
Energi/kuantitas panas	Joule	J	Kg m/s ²

Entitas Fisik	Nama Satuan	Simbol	Formula
Kerja (daya)	Watt	W	$\text{Kg.m}^2.\text{s}^{-3}$ (J/s)
Tegangan listrik	Volt	V	W/a
Tahanan listrik	Ohm	Ω	V/A
Viskositas	Pascal second	Pa.s	
Panas jenis	-	J/kg.K	
Konduktivitas panas	-	W/mK	
Tegangan permukaan	Newton/m ²	N/m ²	

C. DEFINISI INTERNASIONAL SATUAN DASAR

Definisi satuan dasar internasional menurut SI adalah sebagai berikut.

1. Panjang (Meter): 1 m adalah jarak yang ditempuh oleh cahaya untuk merambat melalui ruang hampa selama $1/299792453$ detik.
2. Massa (Kilogram): 1 kg adalah massa dari suatu model kilogram internasional berupa silinder yang terbuat dari paduan platinum-iridium dengan diameter dan tinggi sama dengan 39 mm.
3. Waktu (Sekon atau Detik): 1 s adalah waktu yang diperlukan oleh suatu atom sesium-133 dalam keadaan transisi dengan pancaran gelombang sebanyak 9192631770 putaran.
4. Arus Listrik (Ampere): 1 A adalah arus yang - dalam keadaan mengalir melalui dua konduktor berciri lurus dan sejajar dengan panjang tak terhingga dan luas penampang yang diabaikan serta ditempatkan pada ruang hampa dengan terpisah oleh jarak sepanjang 1 m, menghasilkan di antara kedua konduktor pada setiap meter panjangnya gaya sebesar $0,2.10^{-6}$ N.
5. Suhu (Kelvin): 1 K adalah $1/273,17$ suhu termodinamis dari air (H₂O) pada titik bekunya. Pada skala Celcius, suhu titik beku air sama dengan $0,01^{\circ}\text{C}$. Dalam hal ini, $0^{\circ}\text{C}=273,16$ K Interval skala temperatur untuk 1°C sama dengan interval skala untuk 1 K.
6. Intensitas Cahaya (Kandela): 1 cd adalah intensitas cahaya dari sumber radiasi sinar monokromatik dengan frekuensi 540 Thz (Terahertz) pada arah tertentu, dalam keadaan intensitas radiasi sumber cahaya tersebut pada arah ini adalah $1/683$ W/sr (watt per steradial).

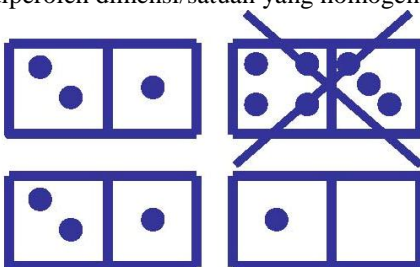
- Jumlah Zat (mol): 1 mol adalah banyaknya materi dari suatu zat yang sama dengan banyaknya partikel-partikel atom C-12 sebanyak 0,012 kg. Macam dari partikel-partikel harus disebutkan.

D. KONVERSI SATUAN

Di dalam perhitungan keteknikan, konsistensi satuan pengukuran sangat penting. Artinya, sistem pengukuran yang digunakan harus sama, tidak boleh dicampur antara sistem pengukuran yang satu dengan sistem pengukuran yang lain, terutama untuk dimensi yang memiliki satuan yang berbeda. Contohnya, apabila dalam perhitungan menggunakan sistem cgs maka satuan-satuan *feet*, *pound*, kilogram, dan meter harus dikonversi dahulu ke sistem cgs. Sering kali dalam perhitungan kesalahan terjadi karena penggunaan sistem satuan yang tidak sama.

Dalam praktiknya, kita sering dihadapkan pada suatu perhitungan dengan sistem satuan yang tidak sama. Oleh karena itu, kita harus mengonversi satuan-satuan tersebut sehingga memiliki sistem satuan yang sama. Untuk dapat mengonversi dari suatu satuan ke satuan yang lain diperlukan faktor konversi. Tahapan yang dilakukan untuk konversi satuan adalah (1) letakkan satuan yang diinginkan di sebelah kiri dari persamaan; (2) angka yang akan dikonversi dan satuannya diletakkan di sebelah kanan persamaan; (3) gunakan rasio faktor konversi dan satuannya (lihat beberapa faktor konversi pada Tabel 1.3; (4) lakukan perkalian dengan mencoret satuan yang sama di sisi sebelah atas dan bawah persamaan sehingga diperoleh satuan yang sama dengan satuan di sebelah kiri persamaan.

Dalam melakukan konversi satuan dapat diterapkan prinsip kartu domino. Perhatikan urutan keluar dari kartu domino (Gambar 1.1), di mana kartu yang keluar harusurut sesuai dengan kartu yang keluar sebelumnya. Analisis dimensional pun mengikuti logika yang mirip sehingga dapat diperoleh dimensi/satuan yang homogen.



Gambar 1.1.
Prinsip Kartu Domino
untuk Konversi Satuan

Tabel 1.3.
Faktor Konversi (Dinyatakan sebagai Rasio) (Toledo, 1991)

Denominator	Numerator		Denominator	Numerator	
I	II	III	I	II	III
Atm (std)	101325.0	Pascal	cPoise	0.001	Pa.s
Atm (std)	14.696	lbf/in ²	cm ³	3.531*10 ⁻⁵	ft ³
Atm (std)	29.921	in Hg	cm ³	0.061023	Inch ³
Atm (std)	76.0	cmHg @ 0°C	cm ³	2.642x10 ⁻⁴	Gal
BTU	1054.8	Joule	ft ³	7.48052	Gal
BTU	252	Cal	ft ³	28.316	Liter
BTU	2.928x10 ⁻⁴	kW.h	dyne	10 ⁻⁵	Newton
BTU/min	0.023575	Hp	dyne.cm	10 ⁻⁷	Newton.m
BTU/min	17.5725	Watt	Erg	9.486x10 ⁻¹¹	BTU
BTU/(h ft ² F)	5.678263	W/m ² .K	Erg	2.389x10 ⁻⁸	Cal
BTU/lb	2326.0	J/kg	Erg	10 ⁻⁷	Joule
BTU/lboF	4186.8	J/kg.K	Foot	0.3048	Meter
Cal	4.1868	Joule	ft.lbf	1.355818	Joule
Centimetre	0.3937	Inchi	Gram	2.2046x10 ⁻³	Pound
cmHg @ 0°C	1333.33	Pascal	Hectare	2.471	Acre
cPoise	0.01	g/cm.s	Hp	0.7457	kW
cPoise	3.60	Kg/m.h	Inch	2.5400x10 ⁻²	Meter
cPoise	6.72x10 ⁻⁴	Lb/ft.s	in Hg @ 0°C	3.38638x10 ³	Pascal
Joule	107	erg	Joule	9.48x10 ⁻⁴	BTU
Joule	0.73756	ft.lbf	Joule	0.23889	Cal
Joule	2.77x10 ⁻⁴	W.h	Pound	453.5924	Gram
Kg	2.2046	Pound	Pound	0.45359	Kg
Km	3281	Foot	lbf	4.44823	Newton
Km	0.6214	Mile	lbf/in ²	0.068046	Atm (std)
kW	3413	BTU/h	lbf/ft ²	47.88026	Pascal
Liter	0.03532	ft ³	lbf/in ²	6894.757	Pascal
Liter	0.2642	Gal (US)	Ton (metric)	1000	Kg
Meter	3.281	Foot	Ton (metric)	2204.6	Pound
Meter	39.37	Inch	Torr (mmHg)	133.322	Pascal
Newton	10 ⁵	dyne	Watt	3.413	BTU/h
Pascal	1.4504x10 ⁻⁴	lbf/in ²	Watt	44.27	ft.lb/min
Pascal	1.0197x10 ⁻⁵	kgf/cm ²	Watt	1.341x10 ⁻³	Hp
Poise	0.1	Pa.s	Watt.h	3.413	BTU
lbf	444823	dyne	Watt.h	3600	Joule

Beberapa contoh faktor konversi yang sering digunakan dalam perhitungan rekayasa proses pangan adalah sebagai berikut.

1. Densitas atau kerapatan

$$1 \text{ g cm}^{-3} = 1000 \text{ kg m}^{-3} = 62.428 \text{ ft}^{-3} = 0.0361 \text{ lb}_m \text{ in}^{-3}$$

$$1 \text{ lb}_m \text{ ft}^{-3} = 16.0185 \text{ kg m}^{-3}$$

2. Massa dan Gaya

$$1 \text{ lb}_m = 16 \text{ oz} = 0.45359 \text{ kg} = 453.593 \text{ g}$$

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 0.001 \text{ metrik ton} = 2.20462 \text{ lb}_m = 35.274 \text{ oz}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2} = 10^5 \text{ dyne} = 105 \text{ g cm s}^{-2} = 0.22481 \text{ lbf}$$

$$1 \text{ lb}_f = 4.448 \text{ N} = 32.174 \text{ lb}_m \text{ ft s}^{-2}$$

3. Panjang

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm} = 3.2808 \text{ ft} = 39.37 \text{ in} = 1.0936 \text{ yd}$$

$$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm} = 25.40 \text{ mm} = 0.0254 \text{ m} = 0.0833 \text{ ft} = 0.02778 \text{ yd}$$

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

4. Suhu

$$T \text{ Kelvin} = T \text{ Celsius} + 273$$

$$T \text{ Kelvin} = (T \text{ Fahrenheit} + 460) / 1.8 \quad T \text{ Fahrenheit} = 1.8$$

$$T \text{ Celsius} + 32 \quad T \text{ Celsius} = (T \text{ Fahrenheit} - 32) / 1.8$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

5. Daya dan energi

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ ft lbf s}^{-1} = 745.70 \text{ W} = 0.7457 \text{ kW} = 0.7068 \text{ BTU s}^{-1}$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J s}^{-1} = 0.23901 \text{ cal s}^{-1} = 3.414 \text{ BTU h}^{-1} = 1.341 (10^{-3}) \text{ hp}$$

$$1 \text{ BTU hr}^{-1} = 0.2931 \text{ W} = 0.2931 \text{ J s}^{-1}$$

$$1 \text{ N m} = 1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = 107 \text{ dyne cm} = 0.7376 \text{ ft lb}_f$$

$$= 9.486 (10^{-4}) \text{ BTU}$$

$$1 \text{ N m} = 100 \text{ N cm} = 141.61 \text{ in oz}_f = 8.85 \text{ in lb}_f = 0.23901 \text{ kal}$$

$$1 \text{ dyne cm} = 10^{-7} \text{ N m} = 10^{-5} \text{ N cm}$$

$$1 \text{ ft lb}_f = 1.35582 \text{ N m} = 1.35582 \text{ J} = 1.2851 (10^{-3}) \text{ BTU}$$

6. Tekanan

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 14.5038 \text{ lb}_f \text{ in}^{-2} = 0.987 \text{ atm} = 10.2 \text{ m H}_2\text{O} = 33.48 \text{ ft H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2} = 10 \text{ dyne cm}^{-2} = 9.8692 (10^{-6}) \text{ atm} = 7.5 (10^{-3}) \text{ torr}$$

$$1 \text{ lbf in}^{-2} = 6894.8 \text{ Pa} = 6.804 (10^{-2}) \text{ atm} = 6.895 \text{ kPa} = 2.309 \text{ ft H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ dyne cm}^{-2} = 0.10 \text{ Pa} = 10^{-6} \text{ bar} = 0.987 (10^{-6}) \text{ atm}$$

$$1 \text{ atm} = 1.01325 (10^5) \text{ N m}^{-2} = 101.325 \text{ kPa} = 14.696 \text{ psi} = 1.013 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg pada } 0^\circ\text{C} = 33.90 \text{ ft H}_2\text{O at } 4^\circ\text{C} = 1.01325 (10^6) \text{ dyne cm}^{-2}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ torr} = 29.921 \text{ in Hg pada } 0^\circ\text{C}$$

7. Panas spesifik, konduktivitas panas dan koefisien konveksi

$$1 \text{ BTU lbm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1} = 4184 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$1 \text{ BTU ft}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1} = 1.730 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$1 \text{ BTU ft}^{-1} \text{ h}^{-2} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1} = 5.678 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

8. Viskositas

$$1 \text{ P} = 1 \text{ dyne s cm}^{-2} = 0.1 \text{ Pa s} = 100 \text{ cP} = 100 \text{ mPa s}$$

$$1 \text{ Pa s} = 1000 \text{ cP} = 10 \text{ P} = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} = 1 \text{ N s m}^{-2} = 0.67197 \text{ lbf ft}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa s} = 0.001 \text{ Pa s} = 0.01 \text{ P}$$

$$1 \text{ lbf ft}^{-1} \text{ s}^{-1} = 1.4882 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} = 1488.2 \text{ cP}$$

9. Volume

$$1 \text{ m}^3 = 106 \text{ cm}^3 = 103 \text{ L (liter)} = 264.17 \text{ gal (US)}$$

$$1 \text{ m}^3 = 35.3145 \text{ ft}^3 = 219.97 \text{ gal (UK)}$$

$$1 \text{ ft}^3 = 0.028317 \text{ m}^3 = 7.4805 \text{ gal (US)} = 28.317 \text{ L}$$

$$1 \text{ ft}^3 = 6.2288 \text{ gal (UK)}$$

$$1 \text{ gal (US)} = 4 \text{ qt} = 3.7854 \text{ L} = 3785.4 \text{ cm}^3 = 0.8327 \text{ gal (UK)}$$

$$1 \text{ gal (US)} = 0.003785 \text{ m}^3 = 0.13368 \text{ ft}^3$$

Untuk melakukan konversi, sering kali diperlukan pangkat desimal. Tabel 1.4 berikut adalah angka desimal dan awalan yang digunakan dalam sistem SI. Dalam menuliskan satuan desimal tidak diperbolehkan menggunakan huruf besar sebagai ganti huruf kecil dan juga sebaliknya dan menggabungkan awalan-awalan.

Tabel 1.4.
Pangkat Desimal dan Awalan yang Digunakan dalam Sistem SI

Pangkat Desimal	Awalan	Lambang	Pangkat Desimal	Awalan	Lambang
10^{18}	Eksa	E	10^{-2}	Senti	c
10^{15}	Peta	P	10^{-3}	Mili	m
10^{12}	Tera	T	10^{-6}	Mikro	u
10^9	Giga	G	10^{-9}	Nano	n
10^6	Mega	M	10^{-12}	Piko	p
10^3	Kilo	k	10^{-15}	Femto	f
10^{-1}	Desi	d	10^{-18}	Ato	a

Contoh 1:

Tentukan faktor konversi untuk mengubah satuan $\text{BTU}/(\text{lb} \cdot \text{F})$ menjadi satuan $\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$!

Jawab:

$$\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} = \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot \text{F}} \times \text{faktor konversi yang sesuai}$$

$$\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} = \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot \text{F}} \times \frac{1054,8 \text{ J}}{\text{BTU}} \cdot \frac{2,2046 \times 10^3 \text{ g}}{\text{lb}} \cdot \frac{1,8^0}{\text{K}} = \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot \text{F}} \times 4,185$$

Jadi, faktor konversinya adalah 4,185.

Contoh 2:

Susu mengalir dalam pipa yang berdiameter 0,75 inci dengan kecepatan 5 liter per menit. Berapa kecepatan aliran susu tersebut dinyatakan dalam sistem Inggris (dalam satuan ft /s).

Jawab:

Untuk memecahkan masalah di atas maka harus ditentukan faktor konversinya.

$$\frac{ft^3}{s} = \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \text{faktor konversi yang sesuai}$$

$$\frac{ft^3}{s} = \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60s} \times \frac{1ft}{28,3 \text{ liter}} = \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times 0,00245$$

Dengan demikian, kecepatan alirannya (v) adalah:

$$v = 5 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times 0,00245 = 0,01225 \text{ ft}^3 / s$$

Contoh 3:

Berapa kWh listrik yang dibutuhkan untuk memanaskan 100 gal air dari 60°F menjadi 100°F? Diketahui panas jenis (c_p) air = 1 BTU/lb°F

Jawab:

$$q = mc_p(T_2 - T_1)$$

$$q = 100 \text{ gal} \times \frac{833 \text{ lb}}{\text{gal}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \times (100^\circ\text{F} - 60^\circ\text{F}) = 33320 \text{ BTU}$$

$$\text{kWh} = 33320 \text{ BTU} \times \frac{2,928 \times 10^{-4} \text{ kWh}}{\text{BTU}} = 9,756 \text{ kWh}$$

Contoh 4:

Tentukan tekanan di dalam kolam suatu fluida yang tingginya 8,325 in saat percepatan gravitasi 32,2 ft/s² dan densitas 1,013 g/cm³? Nyatakan tekanan dalam satuan sistem SI (kg/m.s).

Jawab:

Tekanan (P) = densitas (ρ) \times percepatan gravitasi (g) \times tinggi (h)

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1,013 \text{ g}}{\text{cm}^3} \times 8,325 \text{ in} \times \frac{32,2 \text{ ft}}{\text{s}^2} \\
 P(\text{kg} / \text{m.s}) &= \frac{1,013 \text{ g}}{\text{cm}^3} \times \frac{100^3 \text{ cm}^3}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \\
 &\quad \times \frac{0,0254 \text{ m}}{\text{in}} \times \frac{32,2 \text{ ft}}{\text{s}^2} \times \frac{0,0283 \text{ m}}{\text{ft}} \\
 P &= \frac{1,013 \text{ g}}{\text{cm}^3} \times \frac{100^3 \text{ cm}^3}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times 8,325 \text{ in} \times \frac{0,0254 \text{ m}}{\text{in}} \times \frac{32,2 \text{ ft}}{\text{s}^2} \times \frac{0,0283}{\text{ft}} \\
 &= 195.2 \text{ kg} / \text{m.s}
 \end{aligned}$$

Contoh 5:

Konversikan 55 mph ke dalam ft/s dan km/jam!

Jawab:

Faktor konversi : 5280 ft = 1 mil; 1000 m = 1 km 0,3048 m
 = 1 ft; 3600 s = 1 jam

Faktor satuan:

$$P = \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} \times \frac{5289 \text{ ft}}{1 \text{ ml}} \times \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}}$$

$$55 \text{ mph} = 55 \frac{1 \text{ mil}}{\text{jam}} \times \frac{5280 \text{ ft}}{1 \text{ mil}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} = 88,5 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

$$55 \text{ mph} = 55 \frac{1 \text{ mil}}{\text{jam}} \times \frac{5280 \text{ ft}}{1 \text{ mil}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} = 88,5 \frac{\text{km}}{\text{jam}}$$



LATIHAN

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

- 1) Jelaskan mengapa satuan dan dimensi penting dalam bidang keteknikan (rekayasa)!

- 2) Jelaskan apa yang dimaksud dengan dimensi! Sebutkan contoh dari dimensi dan simbolnya!
- 3) Jelaskan apa yang dimaksud dengan satuan atau unit! Sebutkan contoh dari satuan atau unit tersebut!
- 4) Jelaskan apa yang dimaksud dengan satuan dasar dan satuan turunan! Sebutkan contoh masing-masing!
- 5) Sebutkan satuan untuk dimensi panjang, massa, suhu dan waktu menurut sistem satuan SI!
- 6) Apa yang dimaksud dengan faktor konversi! Mengapa faktor konversi diperlukan dalam perhitungan keteknikan!
- 7) Konversi dimensi suhu dari 80°C ke $^{\circ}\text{F}$ dan $^{\circ}\text{K}$!
- 8) Tentukanlah tekanan dari suatu fluida yang berada pada ketinggian (h) 100 inchi! Diketahui densitas fluida (ρ) adalah 1.03 g/cm^3 dan percepatan gravitasi (g) adalah 32.2 ft/s^2 . Nyatakan nilai tekanan tersebut dalam satuan kg/m.s ! Tekanan (P) dihitung dengan rumus berikut: $P=\rho gh$.
- 9) Konversi nilai viskositas suatu fluida 10 cP ke dalam satuan Pascal!
- 10) Sebuah kendaraan melaju dengan kecepatan 100 km/jam untuk menempuh jarak 10000 feet. Tentukanlah waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut (dinyatakan dalam satuan menit)!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab soal-soal latihan di atas, Anda harus mempelajari kembali pengertian dimensi, satuan, satuan dasar, dan satuan turunan, serta contoh-contohnya, serta jenis-jenis sistem satuan (sistem Inggris dan metrik). Anda juga harus mempelajari tahapan dalam mengonversi suatu satuan ke satuan yang lain dengan menggunakan faktor konversi.



Dimensi adalah suatu konsep dasar untuk memberikan deskripsi atas suatu kuantitas fisik dari benda, sedangkan satuan menyatakan deskripsi kuantitatif dari suatu dimensi. Satuan dibagi dua menjadi satuan dasar dan satuan turunan. Satuan dasar adalah unit yang dimensinya bebas (tidak tergantung pada unit lain) dan hanya menunjukkan satu satuan dimensi, sedangkan satuan turunan adalah satuan ukuran yang

merupakan kombinasi dari beberapa dimensi sehingga melibatkan beberapa unit dasar.

Sistem satuan dimensi dapat dikelompokkan menjadi sistem Inggris dan sistem metrik. Sistem Inggris terdiri dari sistem absolut Inggris, keteknikan Inggris dan keteknikan Amerika; sedangkan sistem metrik dikelompokkan menjadi tiga sistem, yaitu sentimeter gram detik (cgs), meter kilogram detik (MKS) dan Sistem Internasional (SI). Sistem internasional (SI) banyak dipakai baik untuk tujuan ilmiah maupun kegiatan industri (bersifat universal).

Faktor konversi digunakan untuk mengubah suatu satuan ke satuan yang lain sehingga memiliki sistem satuan yang sama. Tahapan yang dilakukan untuk konversi satuan adalah (1) letakkan satuan yang diinginkan di sebelah kiri dari persamaan; (2) angka yang akan dikonversi dan satuannya diletakkan di sebelah kanan persamaan; (3) gunakan rasio faktor konversi dan satuannya; (4) lakukan perkalian dengan mencoret satuan yang sama di sisi sebelah atas dan bawah persamaan sehingga diperoleh satuan yang sama dengan satuan di sebelah kiri persamaan.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Deskripsi entitas fisik dinyatakan dengan
 - A. satuan
 - B. dimensi
 - C. satuan dasar
 - D. satuan turunan

- 2) Satuan ukuran yang merupakan kombinasi dari beberapa dimensi dan melibatkan beberapa satuan dimensi disebut
 - A. faktor konversi
 - B. dimensi
 - C. satuan dasar
 - D. satuan turunan

- 3) Berikut yang termasuk entitas fisik yang mengandung lebih dari 1 dimensi adalah
 - A. tekanan
 - B. panjang

- C. suhu
 - D. berat
- 4) Energi mengandung satuan turunan yang terdiri dari dimensi
- A. berat, suhu, panjang
 - B. berat, panjang, waktu
 - C. berat, suhu, waktu
 - D. berat, panjang, mol
- 5) Satuan energi dalam sistem cgs dinyatakan dalam satuan
- A. Joule
 - B. BTU
 - C. erg
 - D. N.m
- 6) Dimensi gaya dalam sistem SI dinyatakan dalam satuan
- A. lbf
 - B. lbm
 - C. kgf
 - D. Newton
- 7) Berapakah suhu dari 37°C dinyatakan dalam satuan Kelvin
- A. 273°K
 - B. 310°K
 - C. 137°K
 - D. 320°K
- 8) Berapakah faktor konversi yang digunakan untuk mengubah satuan energi dari BTU/lb ke Joule/kg
- A. 2326
 - B. 4186,8
 - C. 1,730735
 - D. 17,5725
- 9) Berikut ini menyatakan satuan dari viskositas, *kecuali*
- A. Poise
 - B. Pa
 - C. mPa.s
 - D. kg/m.s

- 10) Berikut ini menyatakan satuan energi, *kecuali*
- A. Joule
 - B. erg
 - C. Watt
 - D. BTU

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

Keseimbangan Massa

Sebagaimana kita ketahui dalam hukum kekekalan massa bahwa energi (materi) tidak dapat diciptakan atau dihilangkan, tetapi hanya berubah bentuk dari satu wujud ke wujud lainnya. Prinsip ini pun berlaku dalam proses pengolahan pangan, di mana total *input* bahan yang masuk ke dalam suatu proses pengolahan akan sama dengan total *output*nya, yang terjadi adalah perubahan wujud dari bahan yang masuk dan yang keluar. Prinsip ini dikenal dengan istilah keseimbangan massa/materi (*mass/material balance*).

Prinsip keseimbangan massa/materi banyak diaplikasikan dalam mendesain suatu proses pengolahan pangan (pengupasan, sortasi, ekstraksi, pengeringan, evaporasi) atau formulasi produk baru. Prinsip dari keseimbangan massa adalah total berat yang masuk (*input*) ke dalam suatu tahap proses atau proses keseluruhan akan sama dengan total berat dari *output*nya. Perubahan yang terjadi adalah perubahan wujud dari *input* menjadi bentuk lainnya pada saat *output*. Bahan yang masuk ke dalam suatu tahap proses dapat berupa satu jenis bahan atau lebih, begitu juga bahan yang keluar dapat berupa satu atau lebih produk yang dikehendaki, limbah (*waste*) ataupun kehilangan yang tidak terkontrol.

Dalam suatu proses apa pun jika tidak ada akumulasi sisa bahan dalam peralatan prosesnya maka jumlah bahan yang masuk akan sama dengan jumlah yang keluar. Dengan kata lain, dalam suatu sistem apa pun jumlah materi dalam sistem akan tetap walaupun terjadi perubahan bentuk atau keadaan fisik. Oleh sebab itu, jumlah bahan yang masuk dalam suatu proses pengolahan pangan akan sama dengan jumlah bahan yang keluar sebagai produk yang dikehendaki ditambah jumlah yang hilang dan atau yang terakumulasi dalam peralatan pengolahan. Secara matematis, prinsip keseimbangan massa tersebut dapat dinyatakan dengan Persamaan 1.1 berikut (m adalah total massa):

$$m_{\text{input}} = m_{\text{output}} + m_{\text{akumulasi}} \quad (1.1)$$

Proses pengolahan yang tidak mengalami akumulasi disebut “steady state process”, sedangkan yang mengalami akumulasi disebut “unsteady state

process”. Pembahasan kesetimbangan massa berikut mengasumsikan tidak terjadinya akumulasi dalam peralatan proses (*steady state process*).

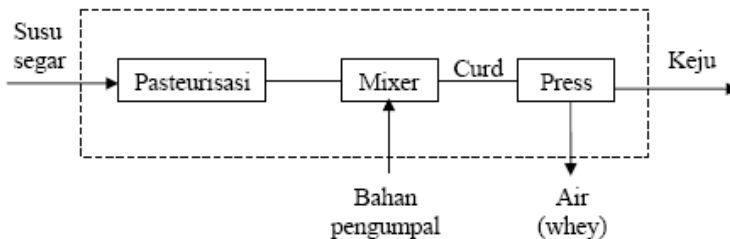
A. APLIKASI KESETIMBANGAN MASSA

Untuk dapat melakukan evaluasi kesetimbangan massa dalam suatu tahap proses pengolahan atau keseluruhan proses maka perlu dilakukan identifikasi dan spesifikasi seluruh materi yang masuk ke dalam proses tersebut dan dimasukkan dalam perhitungan. Prinsip ini dapat digunakan dalam menghitung rendemen dari proses ekstraksi atau sortasi, proporsi campuran bahan dalam suatu formulasi, kehilangan dalam proses, komposisi bahan awal dan akhir.

Dalam proses pengeringan, misalnya, yang terjadi adalah pengeluaran air dari bahan pangan. Dalam hal ini, bahan basah dimasukkan ke dalam sistem pengeringan, kemudian air akan dibawa oleh udara pengering menjadi fase uap, dan setelah pengeringan keluar bahan kering yang sudah berkurang kadar airnya. Sesuai prinsip kesetimbangan massa maka berat bahan basah yang masuk ke dalam pengering seharusnya sama dengan jumlah uap air yang keluar dan berat bahan keringnya. Hal yang sama terjadi di dalam proses evaporasi, di mana ada bagian dari bahan yang dihilangkan dengan proses penguapan sehingga diperoleh produk dengan kepekatan yang lebih tinggi dibanding bahan awalnya.

Contoh lainnya, di dalam proses sortasi buah di mana dipisahkan buah yang rusak (busuk, memar) dari buah yang berkualitas baik sesuai standar mutunya, juga materi yang tidak dikehendaki, yaitu kotoran (daun, ranting, kerikil). Sesuai dengan prinsip kesetimbangan massa maka berat bahan buah yang belum disortasi (input) akan sama jumlahnya dengan buah hasil sortasi dengan bagian-bagian yang tidak dikehendaki (buah rusak dan kotoran).

Dalam proses pengolahan pangan, untuk menghasilkan suatu produk akhir sering harus melalui beberapa tahapan proses. Dengan demikian, dalam satu proses pengolahan pangan sendiri sebetulnya terdiri dari sub-subproses di mana masing-masing subproses mempunyai kesetimbangan massa sendiri-sendiri. Sebagai contoh, dalam proses pengolahan keju, susu mula-mula dipasteurisasi, kemudian digumpalkan, dibuang airnya, diperam. Dalam kesetimbangan massa, hal ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Dari gambar di atas maka dapat ditentukan kesetimbangan massa total dan kesetimbangan pada masing-masing tahap proses:

Kesetimbangan total : susu + bahan penggumpal = keju + air

Sub-pasteurisasi : asumsi tidak ada penguapan

Sub mixer : susu masuk = susu keluar

Sub press : Curd = air + keju

Dari contoh proses pasteurisasi susu hingga diperoleh keju, penyederhanaan masalah dapat dilakukan dengan membuat suatu batasan atau suatu asumsi. Oleh karena dalam pasteurisasi umumnya kehilangan air sangat sedikit sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian, perhatian dapat diberikan pada tahap proses penggumpalan, pembuangan air dan pemeraman. Dalam memutuskan apakah suatu tahap proses dapat diabaikan atau tidak dalam perhitungan kesetimbangan massa, harus didukung dengan alasan ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan.

B. DEFINISI DAN PENGERTIAN DALAM KESETIMBANGAN MASSA

Untuk dapat menyelesaikan permasalahan kesetimbangan massa dengan baik maka perlu dipahami beberapa definisi dan pengertian dasar sebagai berikut.

1. Kesetimbangan Massa Total

Kesetimbangan massa dapat dievaluasi secara total, artinya membuat persamaan matematika dengan menghitung keseluruhan tahap proses pengolahan yang dilaluinya. Maksud dari kesetimbangan massa total di sini ada 2 pengertian, yaitu (a) total massa semua *input* dan *output* yang terlibat

dalam proses; dan (b) total proses yang terlibat dalam aliran bahan (tidak memperhatikan per tahap proses).

2. Keseimbangan Massa Komponen

Komponen adalah sesuatu yang terkandung dalam bahan. Dalam pengolahan pangan yang dimaksud dengan komponen, misalnya adalah kadar air, kadar protein, kadar gula, kadar lemak.

Persamaan matematika keseimbangan massa komponen dibuat berdasarkan lampiran tertentu. Dalam pemecahan persamaan keseimbangan massa, kadang-kadang tidak cukup untuk memandang secara total dari bahan masuk, tetapi perlu mempertimbangkan keseimbangan komponen. Sebagai contoh, dalam proses pencampuran terigu berkadar protein tinggi dengan terigu berprotein rendah harus memperhatikan persyaratan kadar protein yang harus dicapai. Kadar protein di sini digunakan sebagai komponen indikator dalam pemecahan masalahnya. Cara pemecahan masalah dengan memperhatikan komponen bahan ini disebut keseimbangan komponen.

Keseimbangan komponen juga berarti memperhatikan suatu tahapan proses tertentu dari seluruh rangkaian proses yang dilalui bahan, misalnya pada tahap pencampuran, pengeringan, evaporasi/pemekatan, pengenceran. Dari masing-masing tahap proses ini dapat dibuat persamaan matematika.

3. Basis

Dalam proses yang terputus (*batch*), jumlah *input* bahan ke dalam proses dapat diketahui dengan mudah. Namun, dalam proses yang sinambung (*continue*) kadang-kadang sulit untuk mengetahui secara tepat jumlah *output* dan *input* sehingga jumlah bahan yang masuk tidak diketahui dengan tepat. Untuk itu, suatu proses di mana jumlah *input* dan *output* tidak diketahui dengan pasti maka dapat digunakan bilangan bulat tertentu sebagai perumpamaan. Bilangan bulat yang digunakan, misalnya 100 kg, 1000 kg (per satuan waktu tertentu), sesuai dengan kebutuhan. Bilangan bulat yang digunakan sebagai perumpamaan disebut basis. Basis dapat diberikan pada masukan ataupun luarannya. Biasanya pemilihan apakah di masukan (*input*) atau luaran (*output*) tergantung dari cabang rantai masukan atau luaran. Sebagai pedoman umumnya dipilih yang cabang paling sedikit.

4. Tie Material

Tie material adalah komponen yang selama pengolahan tidak mengalami perubahan jumlah sehingga komponen ini dapat menghubungkan antara subproses yang satu dengan subproses berikutnya. Contohnya, total padatan dalam proses pengeringan, kandungan lemak dalam evaporasi susu, kandungan pektin dalam pembuatan jam/jelly.

C. TAHAP PEMECAHAN SOAL KESETIMBANGAN MASSA

Secara umum, dalam memecahkan soal kesetimbangan massa, proses yang dilalui bahan harus digambarkan dalam bentuk skema proses dan memasukkan variabel-variabel yang sudah diketahui serta memberi simbol huruf untuk variabel yang belum diketahui. Tahap selanjutnya, membuat persamaan matematika dan pemecahannya. Secara terperinci, urutan-urutan pemecahan masalah kesetimbangan massa mengikuti alur sebagai berikut.

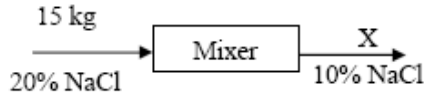
1. Menggambar proses, lengkap dengan anak panah masukan dan luaran pada setiap tahapan proses.
2. Memasukkan variabel yang sudah diketahui. Untuk variabel yang belum diketahui atau ditanyakan dapat menggunakan simbol huruf. Apabila *input* bahan atau *output* bahan tidak diketahui secara pasti, masukan tie material pada tahap proses yang diperlukan untuk mempermudah perhitungan. Ketika memasukkan variabel, kadang-kadang perlu asumsi-asumsi sehingga perlu dituliskan asumsi-asumsi yang digunakan.
3. Membuat persamaan matematika sederhana. Jumlah persamaan tergantung dari variabel yang belum diketahui.
4. Memecahkan persamaan dengan perkalian, pembagian, penjumlahan, pengurangan dan pengolahan matematis sederhana lainnya.
5. Menyimpulkan kembali dari hasil pemecahan persamaan matematika ke dalam bahan teknologis. Misalnya, apabila komponen B=10% menyatakan rendemen maka kesimpulan akhirnya adalah rendemen dari proses tersebut 10%.

Contoh 1:

Tentukanlah berapa kg larutan NaCl 10% yang diperoleh jika 15 kg larutan NaCl 20% diencerkan dengan menambahkan air untuk memperoleh larutan NaCl 10% tersebut!

Jawab:

Persoalan ini memperlihatkan penggunaan prinsip kesetimbangan massa dalam pengenceran larutan yang dapat digambarkan dengan diagram berikut:



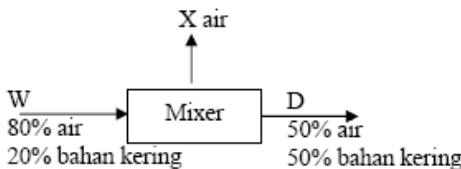
Kesetimbangan massa total untuk kasus tersebut adalah: $X = 15 \text{ kg} + A$
 Kesetimbangan massa NaCl: $0,2 \cdot 15 \text{ kg} = 0,1 \times 3 = 0,1 \times X \rightarrow X = 30 \text{ kg}$
 Jadi larutan NaCl 10% yang diperoleh adalah 30 kg

Contoh 2:

Seberapa banyak penurunan berat yang terjadi ketika suatu bahan pangan dengan kadar air 80% dikeringkan sampai kadar air 50%.

Jawab:

Kasus ini adalah contoh aplikasi konsep kesetimbangan massa pada proses pengeringan yang dapat digambarkan dengan diagram berikut:



Kesetimbangan massa total:

$$W = X + D$$

Kesetimbangan massa air:

$$0,8W = X + 0,5D$$

Dua persamaan tersebut dapat digunakan untuk mencari nilai

D dibanding W dengan cara substitusi atau eliminasi:

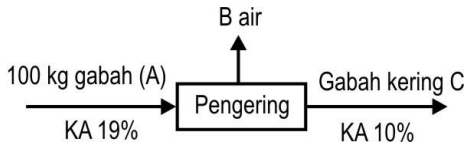
$$\begin{array}{r} W = X + D \\ 0,8W = X + 0,5D \\ \hline 0,2W = 0,5D \rightarrow W = 2,5D \end{array}$$

$$\% \text{ penurunan berat bahan} = \frac{\text{berat badan} - \text{berat akhir bahan}}{\text{Berat awal bahan}} \times 100\%$$

Contoh 3:

100 kg gabah basah dengan kadar air 19% dikeringkan hingga kadar air 10%. Hitung rendemen gabah kering dan air yang hilang.

Jawab:



Kesetimbangan bahan total:

Gabah basah (A) = Air menguap (B) + gabah kering (C)

$$100 = B + C \quad (1)$$

Kesetimbangan komponen air:

Air di A = Air di B + air di C

$$0,19A = B + 0,10C$$

$$0,19 \cdot 100 = B + 0,10C$$

$$19 = B + 0,10C \quad (2)$$

Jika persamaan (1) dikurangi dengan persamaan (2), maka:

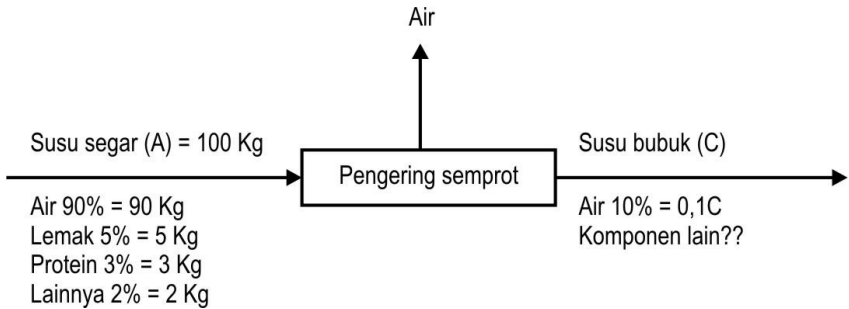
$$100 = B + C \quad 19 = B + 0,10C$$

$$81 = 0 + 0,9C \rightarrow C = 81/0,9 = 90 \text{ kg}$$

Dengan demikian, rendemen dari hasil pengeringan adalah 90 kg/100 kg = 90%. Air yang hilang dapat dicari dengan substitusi C (90kg) ke persamaan (1) sehingga $B = 100 - C = 10 \text{ kg}$ atau 10%.

Contoh 4:

Dalam pembuatan susu bubuk, dimasukkan susu segar ke dalam alat pengering semprot (*spray dryer*). Susu segar terdiri dari komponen air 90%, lemak 5%, protein 3% dan komponen lainnya 2%. Sedangkan susu bubuk mempunyai kadar air 10%. Hitunglah rendemen pengolahan dan komposisi susu bubuk yang dihasilkan.



Jawab:

Oleh karena belum tahu jumlah masukan dan keluarannya maka diperlukan basis perhitungan. Misal, basis yang dipilih adalah masukan sebanyak 100 kg.

Kesetimbangan total berdasarkan basis 100 kg:

$$A = B + C \rightarrow 100 = B + C \quad (1)$$

Kesetimbangan komponen air:

$$90\%A = B + 10\% C \text{ atau } 90 = B + 0,1C \quad (2)$$

Apabila persamaan (1) dikurangi persamaan (2) maka: $10 = 0,9C \rightarrow C = 10/0,9 = 11 \text{ kg}$ (dibulatkan). Dalam proses pengolahan, diasumsikan jumlah protein, lemak dan komponen lainnya tidak berubah sehingga komposisi akhir sebagai berikut:

$$\text{Lemak } 5 \text{ kg} = (5/11) * 100\% = 45,5\%$$

$$\text{Protein } 3 \text{ kg} = (3/11) * 100\% = 27,3\%$$

$$\text{Komponen lain } 2 \text{ kg} = 2/11 = 18,2\%$$

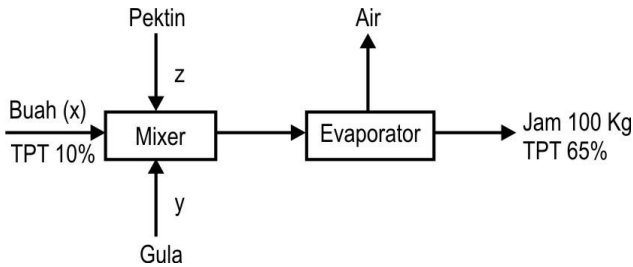
Contoh 5:

Dalam proses pembuatan jam digunakan 45% buah dan 55% gula. Jam harus mempunyai total padatan terlarut minimal 65% untuk membentuk gel yang baik. Proses pembuatan jam adalah pencampuran buah dan gula, penambahan pektin dan pemekatan sehingga tercapai kadar padatan terlarut yang diinginkan. Jumlah pektin yang ditambahkan tergantung pada jumlah gula yang ditambahkan dan derajat kemurnian pektin (dibutuhkan 1 kg pektin grade 100 untuk setiap 100 kg gula agar dihasilkan gel yang baik). Jika buah

dengan total padatan terlarut 10% dan pektin grade 100 digunakan untuk membuat 100 kg jam, hitunglah berat buah, gula dan pektin yang dibutuhkan. Asumsikan total padatan terlarut hanya berasal dari buah dan gula.

Jawab:

Kasus tersebut merupakan contoh aplikasi prinsip kesetimbangan massa dalam formulasi proses pengolahan pangan. Diagram prosesnya adalah sebagai berikut:



Oleh karena penambahan pektin dalam pembuatan jam tergantung pada gula yang ditambahkan maka jumlah gula yang ditambahkan harus ditentukan terlebih dahulu. Kesetimbangan massa padatan terlarut (TPT):

$0,1x + y = (0,65)100$ Karena rasio buah dan gula dalam pembuatan jam dipersyaratkan 45:55, maka: $x/y = 45/55 \rightarrow x = (45/55)y$ dengan substitusi: $0,1x + y = 65 \rightarrow 0,1[(45/55)y] + y = 65 \rightarrow y = 60$ kg (gula) $x = (45/55)y = (45/55)*60 = 49$ kg (buah) jumlah gula 60

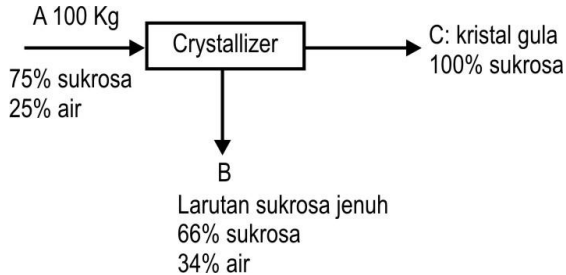
Pektin yang harus ditambahkan: $z = \frac{\text{jumlah gula}}{\text{grade pektin}} \times \frac{60}{100} = 0,6$ kg pektin

Contoh 6:

Tentukan massa kristal gula yang dihasilkan dari proses kristalisasi gula dengan menggunakan bahan baku 100 kg larutan sukrosa 75%. Proses kristalisasi dilakukan pada suhu 15°C dan diketahui konsentrasi larutan sukrosa jenuh pada 15°C adalah 66%.

Jawab:

Kasus tersebut merupakan contoh aplikasi prinsip kesetimbangan massa pada proses kristalisasi gula. Kristalisasi larutan gula tersebut dapat digambarkan dalam diagram berikut:



Kesetimbangan massa total:

$$A = B + C \rightarrow 100 = B + C \tag{1}$$

Kesetimbangan massa sukrosa:

$$0,75 \cdot 100 = 0,77B + C \rightarrow 75 = 0,66B + C \tag{2}$$

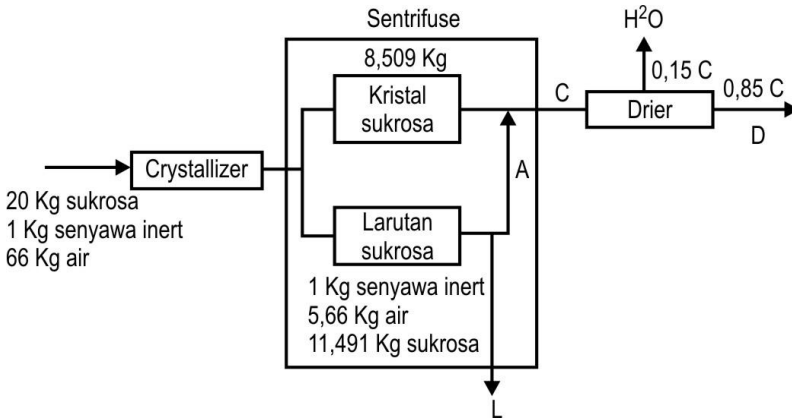
Eliminasi persamaan (1) dan (2):

$$\begin{array}{r}
 100 = B + C \\
 \underline{75 = 0,66B + C} \\
 25 = 0,34B \rightarrow B = 73,53 \text{ kg} \\
 100 = B + C \rightarrow C = 100 - B = 26,47 \text{ kg}
 \end{array}$$

Jadi kristal gula yang dihasilkan sebanyak 26,47 kg.

Contoh 7:

Suatu proses pemurnian kristal gula digambarkan dalam diagram berikut ini. Tentukan rendemen dan kemurnian kristal gula yang diperoleh dari larutan sukrosa jenuh pada suhu 20°C yang mengandung 67% sukrosa (w/w). Fraksi kristal yang diperoleh dari sentrifugasi kehilangan 15% beratnya setelah melewati pengering.



Jawab:

Kesetimbangan massa air pada drier = (fraksi massa air dalam larutan jenuh)(A) = 0,15C

$$\left(\frac{\text{massa air dalam lar. jenuh}}{\text{massa lar. jenuh}} \right) A = 0,15(8,509 + A)$$

$$\left(\frac{5,66}{1 + 5,66 + 11,491} \right) A = 0,15(8,509 + A) \rightarrow 0,3118A$$

$$= 0,15(8,509 + A) \rightarrow A = 7,888 \text{ kg}$$

sehingga: $C = 8,509 + A = 8,509 + 7,88 \text{ kg} = 16,397 \text{ kg}$

Diketahui: $D = 0,85C = 0,85(16,397) = 13,93745$

Jadi: Rendemen $\frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\% = \frac{13,93745}{20 + 1 + 5,66} \times 100\% = 52,28\%$

Kemurnian kristal gula = $\frac{\text{massa sukrosa murni dalam kristal gula}}{\text{massa kristal gula}} \times 100\%$

$$\frac{\text{massa kristal gula} - \text{massa pengotor}}{\text{massa kristal gula}} \times 100\%$$

Di mana massa pengotor pada kristal gula = (fraksi massa pengatur pada larutan sukrosa jenuh) × (massa larutan sukrosa jenuh yang masuk ke drier)
 Fraksi massa pengotor pada larutan sukrosa jenuh dapat diperoleh dari:

$$\frac{\text{massa pengotor pada lar.sukrosa jenuh}}{\text{massa lar.sukrosa jenuh}} \times 100\% = \frac{1}{1 + 5,66 + 11,491}$$

$$= \frac{1}{18,51} = 0,05509$$

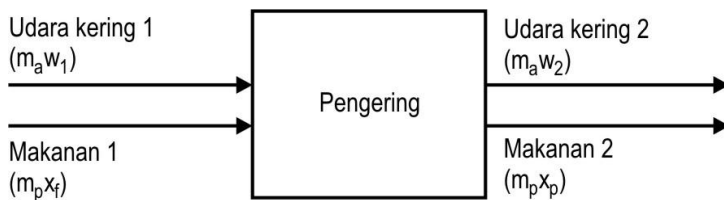
sehingga massa pengotor pada kristal gula = 0,05509 * A = 0,05509 * 7,888 kg = 0,4345 kg.

Maka, kemurnian kristal gula = $\frac{13,93745 - 0,4345}{13,93745} \times 100\% = 96,88\%$

Contoh 8:

Hitunglah jumlah udara kering yang dihembuskan suatu pengering guna mengeringkan 100 kg/jam makanan dari kadar air 80% menjadi 5%. Kandungan air udara masuk adalah 0,002 kg air/kg udara kering dan meninggalkan pengering dengan komposisi 0,2 kg air/kg udara kering!

Jawab:



di mana: m_a = laju aliran udara kering
 $w_2 - w_1$ = kandungan udara kering
 m_p = laju aliran makanan
 x_p, x_f = kadar air makanan

Kesetimbangan massa: $m_p x_f + m_a w_1 = m_p x_p + m_a w_2$
 $100(0,8) + 0,002m_a = 100(0,05) + 0,2m_a$

$$80 - 5 = 0,198m_a$$

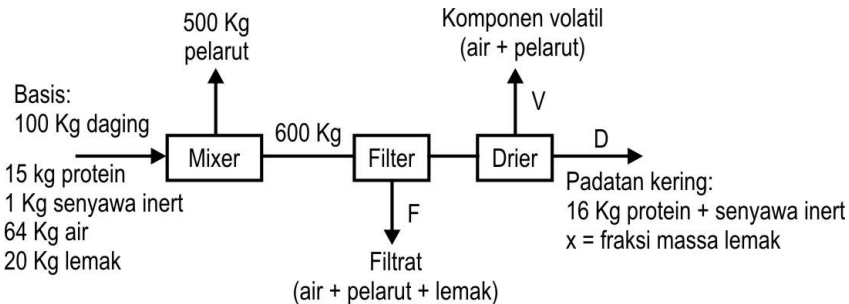
$$m_a = 75/0,198 = 378,8 \text{ kg/jam}$$

Contoh 9:

Daging dengan kadar protein 15%, lemak 20%, air 64% dan senyawa inert 1% diekstrak menggunakan pelarut lemak sebanyak 5 kali berat daging. Pelarut lemak dapat bercampur dengan air dalam semua perbandingan. Setelah kondisi kesetimbangan, pelarut akan bercampur dengan air, sedangkan lemak akan terpisah dari campuran. Setelah proses pencampuran, padatan dipisahkan dari fase cair dengan proses filtrasi. Selanjutnya, fase padat dari proses filtrasi dikeringkan sampai semua komponen volatil hilang. Berat ampas setelah pengeringan adalah $\frac{1}{2}$ dari ampas yang keluar dari proses filtrasi. Asumsikan tidak ada lemak, protein dan senyawa inert yang hilang pada proses pengeringan, dan tidak ada komponen non-lemak yang terbawa pada fase cair pada saat filtrasi. Tentukan kadar lemak pada padatan hasil pengeringan tersebut!

Jawab:

Kasus ini memberikan contoh aplikasi prinsip kesetimbangan massa pada proses ekstraksi komponen bahan pangan. Diagram yang menunjukkan proses tersebut adalah sebagai berikut:



Kesetimbangan massa total: $100 + 500 = F + V + D = 600$

Kesetimbangan massa komponen lemak:

Karena fraksi massa lemak dalam filtrat belum diketahui maka:

Fraksi massa lemak dalam filtrat

$$\frac{\text{berat lemak}}{\text{berat lemak} + \text{berat pelarut} + \text{berat air}} = \frac{20}{20 + 65 + 500} = 0,034246$$

sehingga kesetimbangan massa lemak = $F(0,034246) + D(x) = 20$ (1)

Kesetimbangan massa komponen protein dan senyawa inert:

15 kg protein dan senyawa inert masuk ke dalam sistem dan semuanya keluar dari sistem sebagai padatan kering D. Karena padatan kering (D) hanya mengandung lemak + protein + senyawa inert maka jika x adalah fraksi massa lemak pada padatan kering maka (1-x) adalah massa protein dan senyawa inert sehingga:

$$D(a - x) = 16 \rightarrow D = \frac{16}{1 - x} \quad (2)$$

Kesetimbangan komponen pelarut dan air:

500 kg dan 64 kg air masuk ke dalam sistem. Air keluar dari sistem sebagai komponen volatil V pada pengering dan sebagai bagian dari filtrat pada filter. Fraksi lemak dalam filtrat adalah 0,034246 sehingga fraksi massa air dan pelarut dalam filtrat adalah $1 - 0,034246 = 0,965754$. Dengan demikian:

$$F(0,964754) + V = 564 \quad (3)$$

Jika pembahasan (boundary) dilakukan di pengering maka diperoleh persamaan:

$$D/0,5 = D + V \rightarrow D = V \quad (4)$$

Empat persamaan tersebut dapat digunakan secara simultan untuk menentukan z (fraksi lemak pada padatan kering), Substitusikan $D = V$ pada persamaan (3).

$$F(0,964754) + V = 564 \rightarrow F(0,964754) + D = 564 \quad (5)$$

Substitusikan persamaan (2) ke persamaan (5):

$$F(0,964754) + \frac{16}{1 - x} = 564$$

atau:

$$F = \frac{548 - 564x}{(0,965754)(1 - x)} \quad (6)$$

Substitusikan persamaan (2) ke persamaan (1):

$$F(0,964754) + \frac{16}{1-x}(x) = 20$$

atau:

$$F = \frac{20 - 36x}{(0,965754)(1-x)}$$

Setarakan persamaan (6) dan (7):

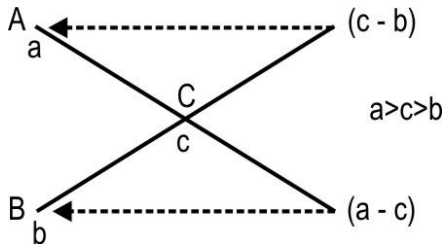
$$F = \frac{548 - 564x}{(0,965754)(1-x)} = \frac{20 - 36x}{(0,034246)(1-x)}$$

$$0,034246(548 - 564x) = 0,965754(20 - 36x) \rightarrow x = \frac{0,548272}{15,446696} = 0,03549$$

Dengan demikian, fraksi lemak dalam padatan kering (x) adalah 0,03549

5. Cara Pearson's Square dalam Pencampuran Bahan

Dalam pencampuran dua bahan, ada cara yang lebih mudah dan tidak perlu menghitung kesetimbangan massa secara rinci, yaitu yang disebut dengan cara Pearson's square. Cara pemecahan masalah tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut: Jika bahan A dengan kadar tertentu (a) dicampur dengan bahan B dengan kadar tertentu (b) untuk menghasilkan bahan C dengan kadar tertentu (c), di mana $a > c > b$ maka untuk mengetahui jumlah bagian masing-masing dapat dibuat skema pencampuran (Gambar 1.1). Jika ditarik diagonal (a-c) dan ditarik ke sisi kiri maka akan didapatkan B. Dengan demikian nilai (a-c) adalah proporsi dari B. Jika dari titik B ditarik diagonal, dan diambil (c-b) dengan harga mutlak setelah itu ditarik ke titik A maka besaran harga mutlak (c-b) adalah bagian atau proporsinya dari A.

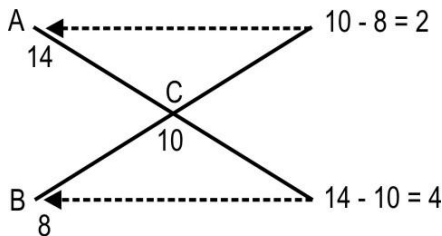


Gambar 1.1
Perhitungan dengan Metode Pearson's Square

Contoh 10:

Pada pencampuran terigu keras (A) dengan kadar protein 14% dan terigu lunak (B) dengan kadar protein 8%, ingin dihasilkan tepung terigu (C) dengan kadar protein 10%. Hitunglah proporsi terigu A dan B yang harus dicampurkan!

Jawab:



(a-c) merupakan proporsi B = $14 - 10 = 4$ bagian

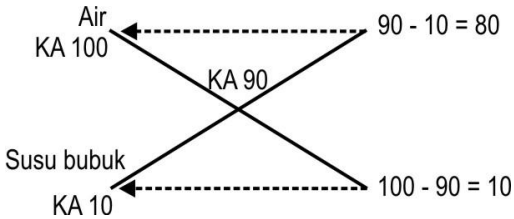
(c-b) merupakan proporsi A = $10 - 8 = 2$ bagian

Dengan demikian, $A:B = 2:4 = 1:2$. Artinya, jumlah terigu A dan terigu B yang harus dicampurkan untuk menghasilkan terigu C dengan kadar protein 10% adalah 1:2.

Contoh 11:

Berapa kg air yang diperlukan untuk merekonstitusi susu bubuk 20 kg dari kadar air 10% menjadi kadar air 90%.

Jawab:



$(100-90)$ merupakan porsi susu bubuk = 10 bagian

$(90-10)$ merupakan porsi dari air = 80 bagian

Jadi, susu bubuk: air = $10:80 = 1:8$

Kalau susu bubuk yang direkonstitusi sebanyak 20 kg, berarti jumlah air yang diperlukan adalah $8 \times 20 = 160$ kg air.



LATIHAN

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

- 1) Jelaskan apa yang dimaksud dengan kesetimbangan massa!
- 2) Apa yang dimaksud dengan kesetimbangan massa *steady state* dan *unsteady state*!
- 3) Jelaskan apa yang dimaksud dengan kesetimbangan massa total dan kesetimbangan massa komponen!
- 4) Jelaskan aplikasi kesetimbangan massa dalam proses pengeringan dan pencampuran bahan!
- 5) Jelaskan apa yang dimaksud dengan basis dan tie material!
- 6) Jelaskan aplikasi cara *Pearson's square* dalam perhitungan kesetimbangan massa!
- 7) Jelaskan tahapan yang harus dilakukan dalam perhitungan kesetimbangan massa!
- 8) Hitunglah banyaknya air yang dikeluarkan dari hasil proses pengeringan 100 kg bahan pangan dari KA 70% menjadi KA 20%!
- 9) Hitunglah jumlah air yang harus ditambahkan untuk mengencerkan 100 ml sirup glukosa berkonsentrasi 80% sehingga menjadi konsentrasi 20%!

- 10) Buatlah skema proses secara lengkap untuk proses evaporasi 100 kg sari buah yang mengandung total padatan terlarut 15% sehingga dihasilkan konsentrat jus dengan total padatan terlarut 60%! Hitunglah berapa jumlah air yang harus diuapkan!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab soal-soal latihan di atas, Anda harus mempelajari kembali Kegiatan Belajar 2 tentang prinsip kesetimbangan massa dalam proses pengolahan pangan, pengertian kesetimbangan massa total, kesetimbangan massa komponen, basis dan tie material, tahapan-tahapan dalam perhitungan kesetimbangan massa dan contoh-contoh aplikasinya, serta cara *Pearson's square* dalam pencampuran bahan.



RANGKUMAN

1. Berdasarkan prinsip kesetimbangan massa maka total berat yang masuk (input) ke dalam suatu tahap proses atau proses keseluruhan akan sama dengan total berat dari output dan akumulasi. Prinsip kesetimbangan massa dapat digunakan dalam menghitung rendemen dari proses ekstraksi atau sortasi, proporsi campuran bahan dalam suatu formulasi, kehilangan dalam proses, komposisi bahan awal dan akhir.
2. Kesetimbangan massa total menghitung keseluruhan tahap proses pengolahan yang dilaluinya (total massa dan total proses), sedangkan kesetimbangan komponen berdasarkan pada salah satu komponen dari bahan atau pada suatu tahapan proses tertentu dari seluruh rangkaian proses yang dilalui bahan.
3. Basis digunakan dalam perhitungan kesetimbangan massa apabila jumlah output dan input yang masuk ke dalam proses tidak diketahui dengan tepat, sedangkan tie material adalah komponen yang selama pengolahan tidak mengalami perubahan jumlah sehingga komponen ini dapat menghubungkan antara subproses yang satu dengan subproses berikutnya.
4. Tahapan dalam pemecahan masalah kesetimbangan massa adalah (a) menggambar skema proses secara lengkap; (b) memasukkan variabel-variabel yang sudah diketahui dan memberi simbol variabel yang belum diketahui nilainya; (c) membuat persamaan matematika sederhana; (d) memecahkan persamaan-persamaan dengan

perkalian, pembagian, penjumlahan, pengurangan dan pengolahan matematis sederhana lainnya; dan (e) menyimpulkan kembali dari hasil pemecahan persamaan matematika ke dalam bahan teknologis.

5. Cara *Pearson's square* merupakan cara untuk menghitung kesetimbangan massa dalam proses pencampuran dua bahan.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Proses berikut di mana perhitungan kesetimbangan massa dapat diabaikan adalah
 - A. pengeringan
 - B. evaporasi
 - C. pencampuran
 - D. pasteurisasi
- 2) Proses perhitungan kesetimbangan massa yang menghitung berdasarkan komponen bahan atau tahapan proses disebut
 - A. kesetimbangan massa komponen
 - B. kesetimbangan massa total
 - C. *tie material*
 - D. basis
- 3) Bila daging yang mengandung protein 15%, lemak 20%, air 64% dan senyawa inert 1% diekstrak lemaknya dengan pelarut lemaknya, kemudian dikeringkan dalam oven. Komponen berikut akan tetap jumlahnya setelah proses pengeringan, *kecuali*
 - A. protein dan senyawa inert
 - B. senyawa inert dan air
 - C. lemak dan senyawa inert
 - D. air dan lemak
- 4) Cara *Pearson's square* digunakan dalam menghitung kesetimbangan massa pada proses
 - A. pengeringan
 - B. pencampuran 2 bahan
 - C. pencampuran lebih dari 2 bahan
 - D. pasteurisasi

- 5) Bahan yang jumlahnya tetap selama melewati proses pengolahan disebut
- tie material*
 - basis
 - bahan kering
 - bahan basah
- 6) Jus tomat dialirkan melalui pipa dengan kecepatan 100 kg/menit bersama dengan larutan jenuh garam (26% garam) pada kecepatan konstan. Pada kecepatan berapa larutan jenuh garam ditambahkan agar produknya memiliki konsentrasi garam 2%
- 8.33 kg/menit
 - 2 kg/menit
 - 16 kg/menit
 - 25 kg/menit
- 7) Bila jus apel mengandung 10% padatan, berapa % padatan suatu konsentrat apabila diencerkan dengan 3 bagian air dan 1 bagian konsentrat
- 60%
 - 30%
 - 40%
 - 50%
- 8) Dalam proses dehidrasi, produk yang memiliki kadar air 80% telah kehilangan $\frac{1}{2}$ beratnya selama proses. Berapa kadar air akhir produk itu
- 40%
 - 60%
 - 25%
 - 50%
- 9) Berapa banyak air yang dibutuhkan untuk meningkatkan kadar air dari 100 kg bahan dengan kadar air 30% menjadi bahan dengan kadar air 75%
- 100 kg
 - 150 kg
 - 180 kg
 - 75 kg

- 10) Berapa kg buah yang diperlukan untuk memproduksi 100 kg jam. Formula standar adalah 45 bagian buah untuk 55 bagian gula. Padatan terlarut dari produk 65% dan buah memiliki padatan terlarut 12%. Berapakah berat air dari buah yang hilang saat evaporasi?
- 7.7 kg
 - 0.59 kg
 - 59.3 kg
 - 48.5 kg

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) B
- 2) D
- 3) A
- 4) B
- 5) C
- 6) D
- 7) B
- 8) A
- 9) B
- 10) C

Tes Formatif 2

- 1) D
- 2) A
- 3) D
- 4) B
- 5) A
- 6) A
- 7) C
- 8) B
- 9) C
- 10) A

Daftar Pustaka

- Canovas, G.V.B., Ma, L, dan Barletta, B. (1997). *Food Engineering Laboratory Manual*. Lancaster: Technomic Publishing Co., Inc.
- Hariyadi, P., Purnomo, E.H., Umaryadi, M.E.W, dan Adawiyah, D.R. (1999). *Latihan Soal Prinsip Teknik Pangan*. Bogor: Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, IPB.
- Maroulis, Z.B. dan Saravacos, G.D. (2003). *Food Process Design*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Singh, R.P. and Heldman, Dr. (2001). *Introduction to Food Engineering*. 3rd ed. San Diego, CA: Academic Press.
- Toledo, R.T. (1991). *Fundamentals of Food Process Engineering*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Valentas, K.J., Rotstein,E, dan Singh, R.P. (1997). *Handbook of Food Engineering Practice*. New York: CRC Press.
- Wirakartakusumah, M.A., Hermanianto, D., dan Andarwulan, N. (1989). *Prinsip Teknik Pangan*. Bogor: PAU Pangan dan Gizi, IPB.