

MODUL 1

Satuan, Dimensi, Keseimbangan Massa, dan Energi

Ariyanti Hartari, S.T.P., M.Si.



PENDAHULUAN

Satuan dan dimensi merupakan konsep dasar yang harus dipelajari dan dipahami dalam rekayasa proses pangan, selain juga harus memahami tentang operasi matematika dan prinsip-prinsip matematika (dalam bentuk persamaan matematika atau gambar/grafik) dan aplikasinya dalam pengolahan pangan. Hampir seluruh perhitungan dalam mata praktikum 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 dan energy, 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, kesetimbangan massa dan energi dalam rekayasa proses pangan. Pembahasan dibagi menjadi dua kegiatan praktikum, yaitu sebagai berikut.

1. Satuan dan Dimensi (Kegiatan Praktikum 1)
2. Kesetimbangan Massa dan Energi (Kegiatan Praktikum 2).

Seluruh kegiatan praktikum pada Modul 1 ini disajikan dalam bentuk video interaktif dan terdapat tugas yang harus Anda kerjakan dan selesaikan sebelum mengikuti kegiatan praktikum di Universitas mitra.

Setelah mempelajari Modul 1 ini Anda diharapkan akan dapat mengaplikasikan 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 kesetimbangan massa dan energi, Anda diharapkan dapat menjelaskan prinsip/konsep kesetimbangan massa dan energi, aplikasinya dalam pengolahan pangan, serta dapat melakukan perhitungan-perhitungan kesetimbangan massa dan energi yang berkaitan dengan proses pengolahan pangan.

KEGIATAN PRAKTIKUM 1

Satuan dan Dimensi

Sebelum mengikuti kegiatan praktikum, Anda diminta telah mempelajari materi dan mengerjakan soal-soal latihan yang disediakan pada program Video Interaktif Praktikum Prinsip Pangan. Jawaban soal-soal tersebut harus Anda kirimkan ke pengampu MK Praktikum Prinsip Teknik Pangan. Untuk mengetahui pemahaman Anda terhadap teori dasar Satuan dan Dimensi, para Tutor Praktikum akan memberikan Pretest sebelum pelaksanaan praktikum.

A. DEFINISI DASAR

Beberapa definisi yang berkaitan dengan besaran pengukuran adalah sebagai berikut.

1. Dimensi

Dimensi adalah 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 = waktu, 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 menjadi duayaitu (1) satuan dasar dan (2) 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

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:

- a. Sistem absolut (*absolute engineering*), umumnya digunakan untuk suatu kegiatan ilmiah;
- b. Keteknikan Inggris (*British engineering*), umumnya untuk kegiatan industri; dan
- c. Keteknikan Amerika (*American engineering*), biasanya digunakan baik untuk tujuan kegiatan ilmiah maupun kegiatan industri, khususnya di Amerika Serikat.

Sistem metrik dikelompokkan menjadi tiga sistem, yaitu:

- a. sentimeter gram detik (cgs),
- b. meter kilogram detik (MKS),
- c. 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).

7. 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.

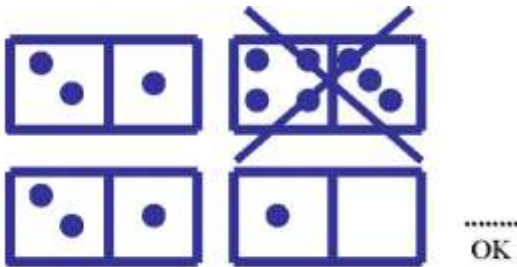
D. KONVERSI SATUAN

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:

- a. letakkan satuan yang diinginkan di sebelah kiri dari persamaan;
- b. angka yang akan dikonversi dan satuannya diletakkan di sebelah kanan persamaan;
- c. gunakan rasio faktor konversi dan satuannya (lihat beberapa faktor konversi pada Tabel 1.3);
- d. 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/lb°F	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

Denominator	Numerator		Denominator	Numerator	
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
llb _f	444823	dyne	Watt.h	3600	Joule

Beberapa contoh faktor konversi yang sering digunakan dalam perhitungan rekayasa proses pangan dapat Anda pelajari kembali di BMP Prinsip Teknik Pangan (PANG4215).



LATIHAN

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

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.



RANGKUMAN

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 _____

Tes formatif dari Kegiatan Praktikum 1 yang terdapat dalam CD dapat Anda gunakan sebagai media pembelajaran. Setiap pilihan jawaban diberikan *feedback*.

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 Praktikum 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 Praktikum 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Praktikum 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN PRAKTIKUM 2

Keseimbangan Massa dan Energi

Sebelum mengikuti kegiatan praktikum, Anda diminta telah mempelajari materi dan mengerjakan soal-soal latihan yang disediakan pada program Video Interaktif Praktikum Prinsip Pangan. Jawaban soal-soal tersebut harus Anda kirimkan ke pengampu MK Praktikum Prinsip Teknik Pangan. Untuk mengetahui pemahaman Anda terhadap teori dasar Keseimbangan Massa & Energi, para Tutor Praktikum akan memberikan Pretest sebelum pelaksanaan praktikum.

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*).

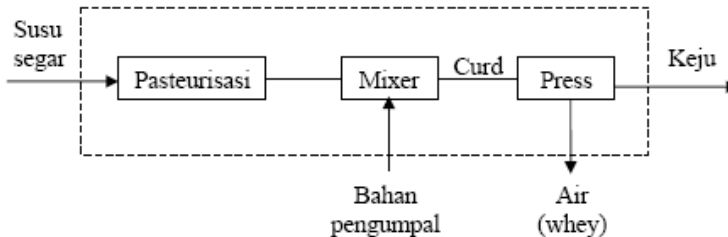
A. APLIKASI KESETIMBANGAN MASSA

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 pengumpal = 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%.

D. KESETIMBANGAN ENERGI

Kesetimbangan energi pada suatu sistem didasarkan pada prinsip/hukum kekekalan energi, yaitu bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Kesetimbangan energi akan berkesinambungan dengan prinsip

kesetimbangan massa sehingga prinsip perhitungan yang digunakan kesetimbangan energi mirip dengan kesetimbangan massa. Seperti di jelaskan di atas, prinsip kesetimbangan energi akan banyak ditemui dalam proses pembekuan, pemanasan, pemompaan, pendinginan.

Perhitungan kesetimbangan panas hampir sama dengan kesetimbangan massa (Modul 1), di mana jumlah panas yang masuk ke dalam sistem harus sama dengan panas yang meninggalkan sistem. Sebagaimana pada perhitungan kesetimbangan massa, penyelesaian masalah kesetimbangan panas juga akan lebih mudah diilustrasikan dalam bentuk diagram aliran proses yang melibatkan panas, mulai dari panas masuk ke dalam sistem hingga meninggalkan sistem. Secara sederhana, prinsip dasar dari kesetimbangan energi dapat dinyatakan dengan Persamaan 1.2. berikut:

$$\text{Energi yang masuk} = \text{energi keluar} + \text{akumulasi di dalam sistem} \quad (1.2)$$

Dalam kondisi *steady state* di mana tidak terjadi akumulasi energi di dalam sistem maka persamaan di atas dapat disederhanakan lagi sebagai berikut (Persamaan 1.3):

$$\text{Energi yang masuk} = \text{energi yang keluar} \quad (1.3)$$

Secara rinci, tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam menyelesaikan kasus kesetimbangan energi adalah sebagai berikut.

1. Gambarlah diagram yang mencerminkan proses, kemudian lengkapi dengan informasi-informasi baik input maupun *output* yang tersedia. Dalam hal ini batas dari sistem dapat merupakan batas yang nyata (misalnya dinding dari mesin blansir) atau batas yang imajiner.
2. Tetapkan sistem dengan titik-titik yang mengelilingi sistem tersebut.
3. Gunakanlah simbol atau huruf tertentu untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang tidak diketahui.
4. Buatlah persamaan kesetimbangan energi dan massa (total dan komponen) dan selesaikanlah dengan menggunakan persamaan matematika. Gunakan Tabel tekanan uap apabila diperlukan. Gunakan juga suhu referensi dalam proses perhitungan apabila diperlukan.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan yang terdapat dalam CD!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab soal-soal latihan tersebut, Anda harus mempelajari kembali materi Kegiatan Praktikum 2 yang terdapat dalam CD tentang prinsip kesetimbangan massa dan energi 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. Anda dapat melihat kembali materi di BMP PANG4215 Modul 1 dan Modul 2.



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.
 6. Kesetimbangan energi pada suatu sistem didasarkan pada prinsip/hukum kekekalan energi, yaitu bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Kesetimbangan energi akan berkesinambungan dengan prinsip kesetimbangan massa sehingga prinsip perhitungan yang digunakan kesetimbangan energi mirip dengan kesetimbangan massa. Persamaan umum kesetimbangan energi adalah Energi yang masuk = energi keluar + akumulasi di dalam sistem.
 7. Dalam kondisi *steady state* di mana tidak terjadi akumulasi energi di dalam sistem maka persamaan kesetimbangan energi adalah Energi yang masuk = energi yang keluar
 8. Tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam menyelesaikan kasus kesetimbangan energi adalah (a) menggambar diagram proses dan batas-batasnya; (b) menetapkan sistem dengan titik-titik yang mengelilingi sistem tersebut; (c) menggunakan simbol atau huruf tertentu untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang tidak diketahui; (d) membuat persamaan kesetimbangan energi dan massa untuk penyelesaian persoalan.



TES FORMATIF 2

Tes formatif dari Kegiatan Praktikum 2 yang terdapat dalam CD dapat Anda gunakan sebagai media pembelajaran. Setiap pilihan jawaban diberikan *feedback*.

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 Praktikum 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 Kegiatan Praktikum 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Praktikum 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Daftar Pustaka

- Canovas, G.V.B., Ma, L, dan Barletta, B. (1997). *Food Engineering Laboratory Manual*. Lancaster: Technomic Publishing Co., Inc.
- Hariyadi, P., Kusnandar, F. (2009). *BMP Prinsip Teknik Pangan*. (PANG4215). Jakarta: Penerbit Universitas Terbuka
- 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.
- Hariyadi, P., Subarna, Adawiyah, D.R., Syamsir, E., Purnomo, E.H, Hanafi, D. (2005). *Petunjuk Praktikum Teknik Pangan*. Bogor:Departemen ITP – Fateta, IPB.
- Hariyadi, P., Suyatna, N.E. (2010). *BMP Satuan Operasi Industri Pangan*. (PANG4322). Jakarta: Penerbit Universitas Terbuka.
- 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.