

# **SATUAN OPERASI**

Semester Gasal 2011/2012 - 3 SKS

Jumat, 07.30 – 10.30 (A)

10.30 – 15.00 (B)

PRO & YOV

# RANCANGAN PERKULIAHAN

	<b>Jumat</b>	<b>Materi</b>	<b>Dosen</b>
<b>1</b>	<b>19 / 08</b>	<b>Introduction; Dimension &amp; Unit</b>	<b>Pro</b>
<b>2</b>	<b>26 / 08</b>	<b>Mass Balance</b>	
		<b>LIBUR LEBARAN</b>	
<b>3</b>	<b>09 / 09</b>	<b>Energy Balance</b>	
<b>4</b>	<b>16 / 09</b>	<b>Fluid Flow</b>	
<b>5</b>	<b>23 / 09</b>	<b>Heat Transfer</b>	
<b>6</b>	<b>30 / 09</b>	<b>Evaporation</b>	
<b>7</b>	<b>07 / 10</b>	<b>Mechanical Separation</b>	
		<b>UTS</b>	
<b>8</b>	<b>28 / 10</b>	<b>Size Reduction</b>	<b>Yov</b>
<b>9</b>	<b>04 / 11</b>	<b>Extraction</b>	
<b>10</b>	<b>11 / 11</b>	<b>Mixing</b>	
<b>11</b>	<b>18 / 11</b>	<b>Drying (1)</b>	
<b>12</b>	<b>25 / 11</b>	<b>Drying (2)</b>	
<b>13</b>	<b>02 / 12</b>	<b>Crystallization</b>	
<b>14</b>	<b>09 / 12</b>	<b>Distillation</b>	
		<b>UAS</b>	

## **Pustaka**

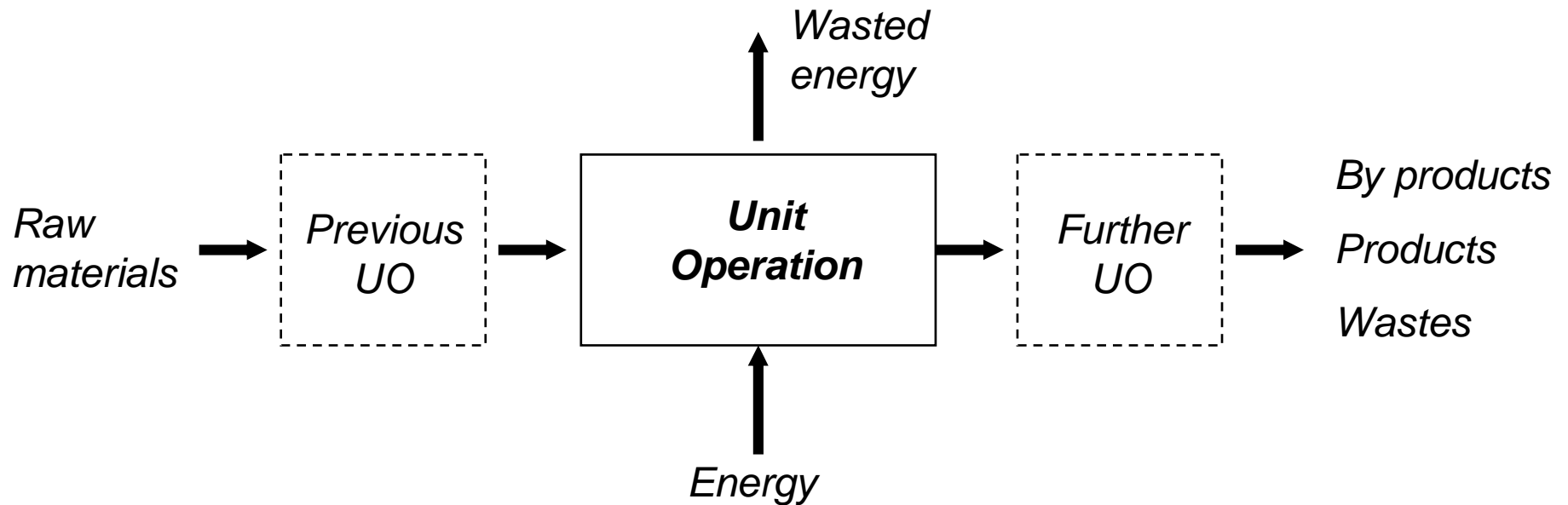
- Earle, R.L. 1983. Unit operations in food processing. 2nd edition. Pergamon Press. Oxford
- Singh & Heldman. 2009. Introduction to food engineering. 4th edition. Academic Press. Amsterdam
- Toledo, R. 1999. Fundamentals of food process engineering. 2nd edition. An Alpen Publ. Maryland

# Tujuan Umum

- Memahami prinsip-prinsip rekayasa dalam pengolahan makanan
- Memahami bentuk-bentuk pengolahan fisik dalam satuan-satuan operasi dasar
- Memahami hubungan kuantitatif sifat-sifat (*properties*) dari suatu unit operasi dalam bentuk persamaan matematis
- Mampu menggunakan persamaan matematis untuk memecahkan kasus suatu unit operasi
- Materi kuliah dasar yang sudah harus dipahami:  
**Fisika, Kimia, & Matematika**

# Gambaran umum

- Melibatkan kesetimbangan massa & energi
- Masing-masing satuan → Satuan Operasi/ *Unit Operation* (UO)



# PENDAHULUAN

## Tujuan

*Me-Review* beberapa konsep fisika(-kimia) dalam rekayasa pangan (satuan operasi)

# DIMENSI & SATUAN

- Entitas fisik yang dapat diamati &/atau diukur  
→ Dimensi (Besaran)
- Besaran kuantitatif dari suatu dimensi dinyatakan dalam *Unit* (Satuan)
- Dimensi primer:  
panjang, waktu, suhu, massa, ...
- Dimensi sekunder:  
volume, kecepatan, ...
- Suatu persamaan harus konsisten secara dimensional

Sistem satuan:

- Sistem Imperial (English/British)
- Sistem centimeter, gram, second (cgs)
- Sistem meter, kilogram, second (mks).
  
- *Systeme International d'Unites* (SI) units



# Satuan Dasar

SI Base Units		
Measurable attribute of phenomena or matter	Name	Symbol
Length	meter	m
Mass	kilogram	kg
Time	second	s
Electric current	ampere	A
Thermodynamic temperature	kelvin	K
Amount of substance	mole	mol
Luminous intensity	candela	cd

# Satuan Turunan

Examples of SI-Derived Units Expressed in Terms of Base Units		
Quantity	SI Unit	
	Name	Symbol
Area	square meter	m <sup>2</sup>
Volume	cubic meter	m <sup>3</sup>
Speed, velocity	meter per second	m/s
Acceleration	meter per second squared	m/s <sup>2</sup>
Density, mass density	kilogram per cubic meter	kg/m <sup>3</sup>
Current density	ampere per square meter	A/m <sup>2</sup>
Magnetic field strength	ampere per meter	A/m
Concentration (of amount of substance)	mole per cubic meter	mol/m <sup>3</sup>
Specific volume	cubic meter per kilogram	m <sup>3</sup> /kg
Luminance	candela per square meter	cd/m <sup>2</sup>

## Examples of SI-Derived Units with Special Names

Quantity	SI Unit			Expression in terms of SI base units
	Name	Symbol	Expression in terms of other units	
Frequency	hertz	Hz		$s^{-1}$
Force	newton	N		$m\ kg\ s^{-2}$
Pressure, stress	pascal	Pa	$N/m^2$	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
Energy, work, quantity of heat	joule	J	$N\ m$	$m^2\ kg\ s^{-2}$
Power, radiant flux	watt	W	$J/s$	$m^2\ kg\ s^{-3}$
Quantity of electricity, electric charge	coulomb	C		$s\ A$
Electric potential, potential difference, electromotive force	volt	V	$W/A$	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
Capacitance	farad	F	$C/V$	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
Electric resistance	ohm	$\Omega$	$V/A$	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
Conductance	siemens	S	$A/V$	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
Celsius temperature	degree Celsius	$^{\circ}C$		K
Luminous flux	lumen	lm		$cd\ sr$
Illuminance	lux	lx	$lm/m^2$	$m^{-2}\ cd\ sr$

## Examples of SI-Derived Units Expressed by Means of Special Names

Quantity	SI Unit		Expression in terms of SI base units
	Name	Symbol	
Dynamic viscosity	pascal second	Pa s	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-1}$
Moment of force	newton meter	N m	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$
Surface tension	newton per meter	N/m	$\text{kg s}^{-2}$
Power density, heat flux density, irradiance	watt per square meter	W/m <sup>2</sup>	$\text{kg s}^{-3}$
Heat capacity, entropy	joule per kelvin	J/K	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$
Specific heat capacity	joule per kilogram kelvin	J/(kg K)	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
Specific energy	joule per kilogram	J/kg	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
Thermal conductivity	watt per meter kelvin	W/(m K)	$\text{m kg s}^{-3} \text{K}^{-1}$
Energy density	joule per cubic meter	J/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-2}$
Electric field strength	volt per meter	V/m	$\text{m kg s}^{-3} \text{A}^{-1}$
Electric charge density	coulomb per cubic meter	C/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-3} \text{s A}$
Electric flux density	coulomb per square meter	C/m <sup>2</sup>	$\text{m}^{-2} \text{s A}$

# Satuan Tambahan

SI Supplementary Units		
Quantity	SI Unit	
	Name	Symbol
Plane angle	radian	rad
Solid angle	steradian	sr

# Soal 1

- Konversikan unit-unit berikut ke unit SI:

a. densitas  $60 \text{ lb}_m / \text{ft}^3$  ke  $\text{kg}/\text{m}^3$

b. energi  $1,7 * 10^3 \text{ Btu}$  ke  $\text{kJ}$

c. entalpi  $2475 \text{ Btu}/\text{lb}_m$  ke  $\text{kJ}/\text{kg}$

d. tekanan  $14,69 \text{ psig}$  ke  $\text{kPa}$

e. viskositas  $20 \text{ cp}$  ke  $\text{Pa}\cdot\text{s}$

$$1 \text{ lb}_m = 0,45359 \text{ kg}$$

$$1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J}$$

$$1 \text{ psia} = 6,895 \text{ kPa}$$

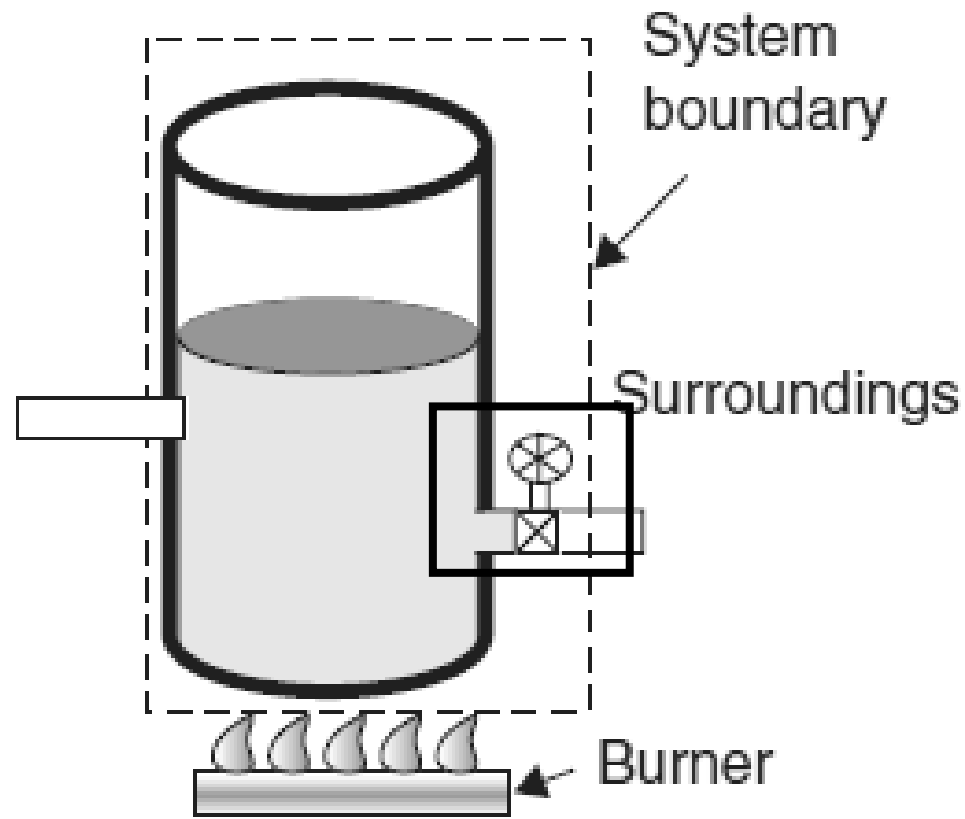
$$\text{psia} = \text{psig} + 14,69$$

$$1 \text{ cp} = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

## Soal 2

- Viskositas air =  $7,8 \times 10^{-4} \text{ lb.ft}^{-1}\text{s}^{-1}$ .  
Hitung dalam  $\text{N.s.m}^{-2}$  ( $1 \text{ lb} = 0,4536 \text{ kg}$ ;  $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$ ;  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m.s}^{-2}$ )
- Susu mengalir melalui pipa secara penuh dengan diameter 1,8 cm. Alat ukur yang tersedia adalah tangki dalam *feet* kubik. Dibutuhkan waktu 1 jam untuk mengisi  $12,4 \text{ ft}^3$ . Hitung kecepatan aliran dalam pipa ( $1 \text{ ft}^3 = 0,0283 \text{ m}^3$ )

# S I S T E M

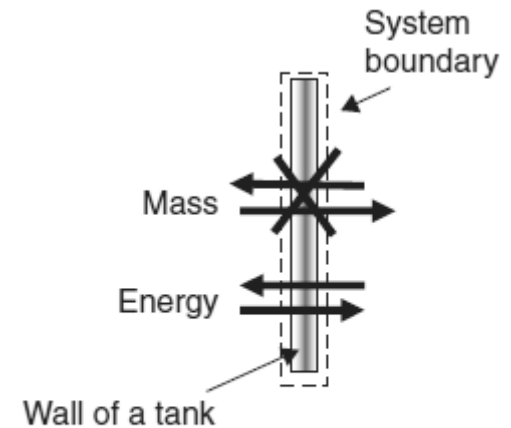


- A system containing a tank with a discharge pipe and valve.



## Sistem tertutup

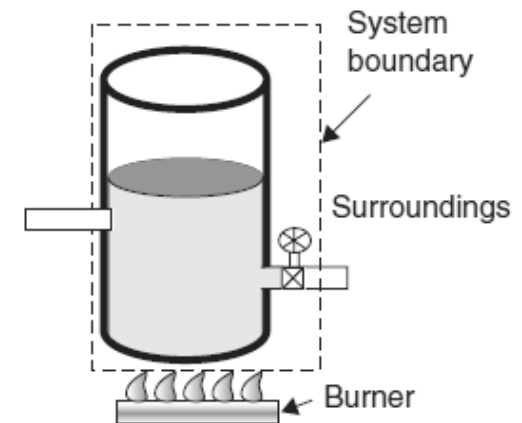
- Pembatas (*boundary*) sistem tidak terpengaruh/terlewati aliran massa (tidak ada pertukaran massa dengan sekeliling/*surroundings*).
- Bisa terjadi pertukaran panas & kerja



■ A closed system containing the wall.

## Sistem terbuka (*control volume*)

- Panas & massa dapat mengalir ke & dari pembatas sistem (*control surface*).



■ A system containing a tank with a discharge pipe and valve.

## Sistem terisolasi

- Tanpa pertukaran massa, panas, atau kerja dengan sekeliling

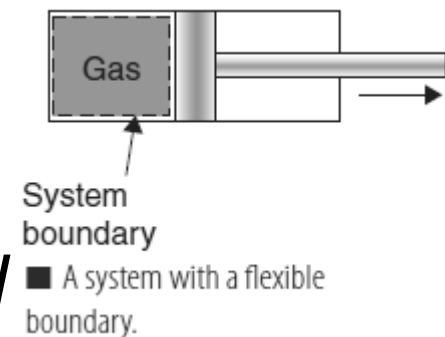
## Sistem *adiabatic*

- Dalam sistem terbuka atau tertutup, tidak terjadi pertukaran panas dengan sekeliling

## Sistem isotermal

- Suatu proses terjadi pada suhu konstan, seringkali melalui pertukaran panas dengan sekeliling

- *Pembatas suatu sistem bisa fleksibel*

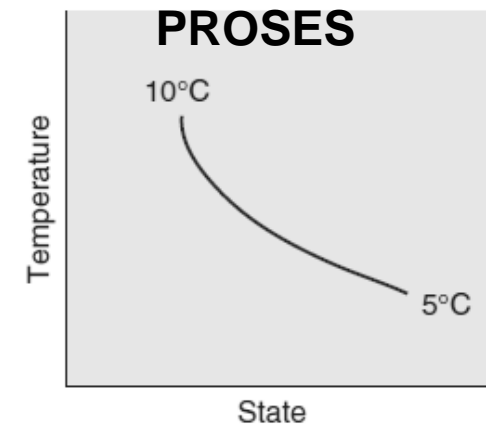
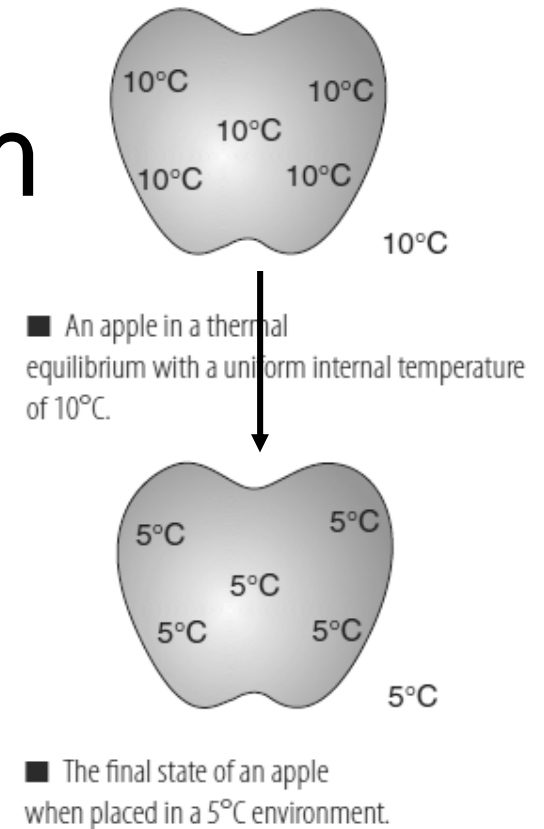


# Keadaan Sistem

- Ke-setimbang-an (*equilibrium*) dari suatu sistem
- Setimbang → Sistem dapat diukur atau dihitung; nilai pada sistem tersebut tetap

Kesetimbangan:

- Termal → suhu
- Mekanikal → tekanan
- Fase → ex. padatan & cairan
- Kimiawi → komposisi kimia



■ A path of a process to cool an apple from 10°C to 5°C.

# DENSITAS

- Massa per unit volume (SI: kg/m<sup>3</sup>).
- Indikasi bagaimana materi menyusun suatu '*body*'.

$$\frac{\text{Densitas senyawa tertentu}}{\text{Densitas air}} (\text{suhu sama}) = \text{specific gravity}$$

- Densitas: padatan; partikel; *bulk*
- D. Partikel → adanya poros internal dalam partikel-partikel makanan  
= rasio massa aktual sebuah partikel terhadap volume aktual-nya

- D. *bulk* → termasuk ruang kosong (*void space*) di antara partikel-partikel → Porositas

$$\text{Porositas} = 1 - \frac{\text{Densitas bulk}}{\text{Densitas padatan}}$$

$$\text{Porositas interpartikel} = 1 - \frac{\text{Densitas bulk}}{\text{Densitas partikel}}$$

Solid Densities of Major Ingredients of Foods			
Ingredient	kg/m <sup>3</sup>	Ingredient	kg/m <sup>3</sup>
Glucose	1560	Fat	900–950
Sucrose	1590	Salt	2160
Starch	1500	Citric acid	1540
Cellulose	1270–1610	Water	1000
Protein (globular)	~1400		
<i>Source: Peleg (1983)</i>			

## Bulk Density of Selected Food Materials

<b>Material</b>	<b>Bulk density (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Beans, cocoa	1073
Beans, soy, whole	800
Coconut, shredded	320–352
Coffee beans, green	673
Coffee, ground	400
Coffee, roasted beans	368
Corn, ear	448
Corn, shelled	720
Milk, whole dried	320
Mustard seed	720
Peanuts, hulled	480–720
Peas, dried	800
Rapeseed	770
Rice, clean	770
Rice, hulled	320
Sugar, granulated	800
Wheat	770

# K O N S E N T R A S I

- Berat/berat; berat (massa)/volume, %, molaritas, fraksi mol, molalitas, ...

- Molaritas

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

- Fraksi mol

Jika suatu larutan mengandung 2 komponen, A and B, jumlah mol  $n_A$  &  $n_B$ , fraksi mol A

$$X_A = \frac{M'_A}{M'_A + \frac{1000}{M_B}}$$

- Molalitas

Molalitas komponen A dalam larutan =  $M'_A$ , Berat molekul solven B =  $M_B$



# Soal 3

- Larutan gula dibuat dengan cara melarutkan 10 kg sukrosa dalam 90 kg air. Densitas larutan  $1040 \text{ kg/m}^3$ . Hitung:
  - a. konsentrasi, berat per satuan berat
  - b. konsentrasi, berat per satuan volume
  - c. Brix
  - d. molaritas
  - e. fraksi mol
  - f. molalitas

1	Given			Units
2	Amount of sucrose	10		kg
3	Amount of water	90		kg
4	Density of solution	1040		kg/m <sup>3</sup>
5				
6	Volume of solution	$= (B2 + B3) / B4$	0.0962	m <sup>3</sup>
7	Concentration w/w	$= B2 / (B2 + B3)$	0.1	kg solute/kg solution
8	Concentration w/v	$= B2 / B6$	104	kg solute/m <sup>3</sup> solution
9	Brix	$= B2 / (B2 + B3) * 100$	10	(kg solute/kg solution)*100
10	Molarity	$= B8 / 342$	0.30	mole solute/liter of solution
11	Mole fraction	$= (B2 / 342) / (B3 / 18 + B2 / 342)$	0.0058	
12	Molality	$= (B2 * 1000) / (B3 * 342)$	0.325	mole solute/liter of solution

# **KADAR *MOISTURE***

## **Soal 4**

- Hitung k. air basis kering dari k. air 85% basis basah !!
- Jika 1 kg makanan dengan k.air 90% basis basah dikeringkan hingga menjadi k.air 50% basis basah, hitung massa akhir makanan!

- Basis basah  $k.\text{air wb} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa sampel (basah)}}$
- Basis kering  $k.\text{air db} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa sampel (kering)}}$

$$k.\text{air wb} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa air} + \text{massa sampel (kering)}}$$

$$k.\text{air wb} = \frac{k.\text{air db}}{k.\text{air db} + 1}$$

$$k.\text{air db} = \frac{k.\text{air wb}}{1 - k.\text{air wb}}$$

# Soal 5

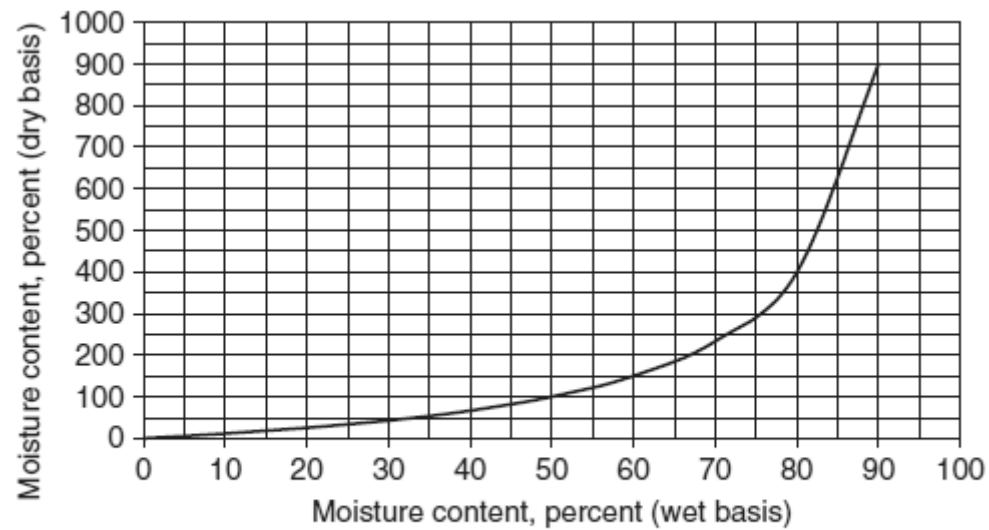
- Buat tabel konversi k. air dari basis basah ke basis kering, antara k.air wb 0% hingga 90% dengan kenaikan setiap 10%

	A	B
1	Moisture content (wb)	Moisture content (db)
2	0	=A2/(100-A2)*100
3	10	=A3/(100-A3)*100
4	20	=A4/(100-A4)*100
5	30	=A5/(100-A5)*100
6	40	=A6/(100-A6)*100
7	50	=A7/(100-A7)*100
8	60	=A8/(100-A8)*100
9	70	=A9/(100-A9)*100
10	80	=A10/(100-A10)*100
11	90	=A11/(100-A11)*100

■ Spreadsheet for converting  
moisture content wet basis to moisture content  
dry basis

	A	B
1	Moisture content (wb)	Moisture content (db)
2	0	0.00
3	10	11.11
4	20	25.00
5	30	42.86
6	40	66.67
7	50	100.00
8	60	150.00
9	70	233.33
10	80	400.00
11	90	900.00

■ Results of the spreadsheet calculation

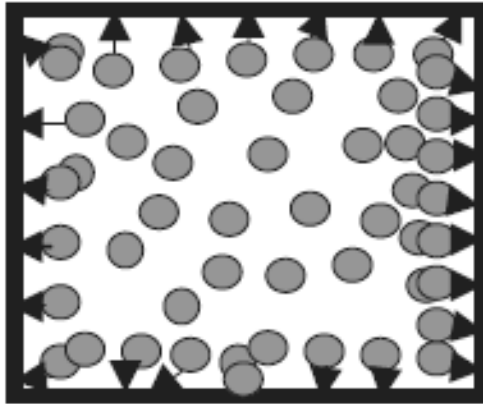


■ Plot of moisture content wet basis versus moisture content dry basis.

# S U H U

- Skala suhu → Skala Celsius (SI)
- Skala Fahrenheit (British)
- Titik es → 0°C & 32°F
- Titik didih → 100°C & 212°F
- Skala suhu termodinamika (SI) → Skala Kelvin
- Suhu terendah 0 K => Skala Rankine (British)  
 $T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$
- Pembagian skala aktual dalam skala Kelvin & Celsius adalah sama

# TEKANAN



■ Gas molecules exerting force on the inside of a chamber.

$$P = \frac{dF}{dA}$$

- Gaya yang dikeluarkan fluida per unit luas permukaan bagian dalam ruangan; ketika fluida setimbang
- Satuan (SI): N/m<sup>2</sup> atau pascal.
- 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 0,1 MPa = 100 kPa
- Tekanan atmosfer standar  
1 atm = 14,696 lb/in<sup>2</sup> = 1,01325 bar = 101,325 kPa



- Vakum mutlak (absolut) → Tekanan nol
- Tekanan mutlak → ketika tekanan diukur relatif terhadap vakum mutlak

- Alat pengukur tekanan (ex. *pressure gauge*) biasanya dikalibrasi untuk membaca nol pada tekanan 1 atm.

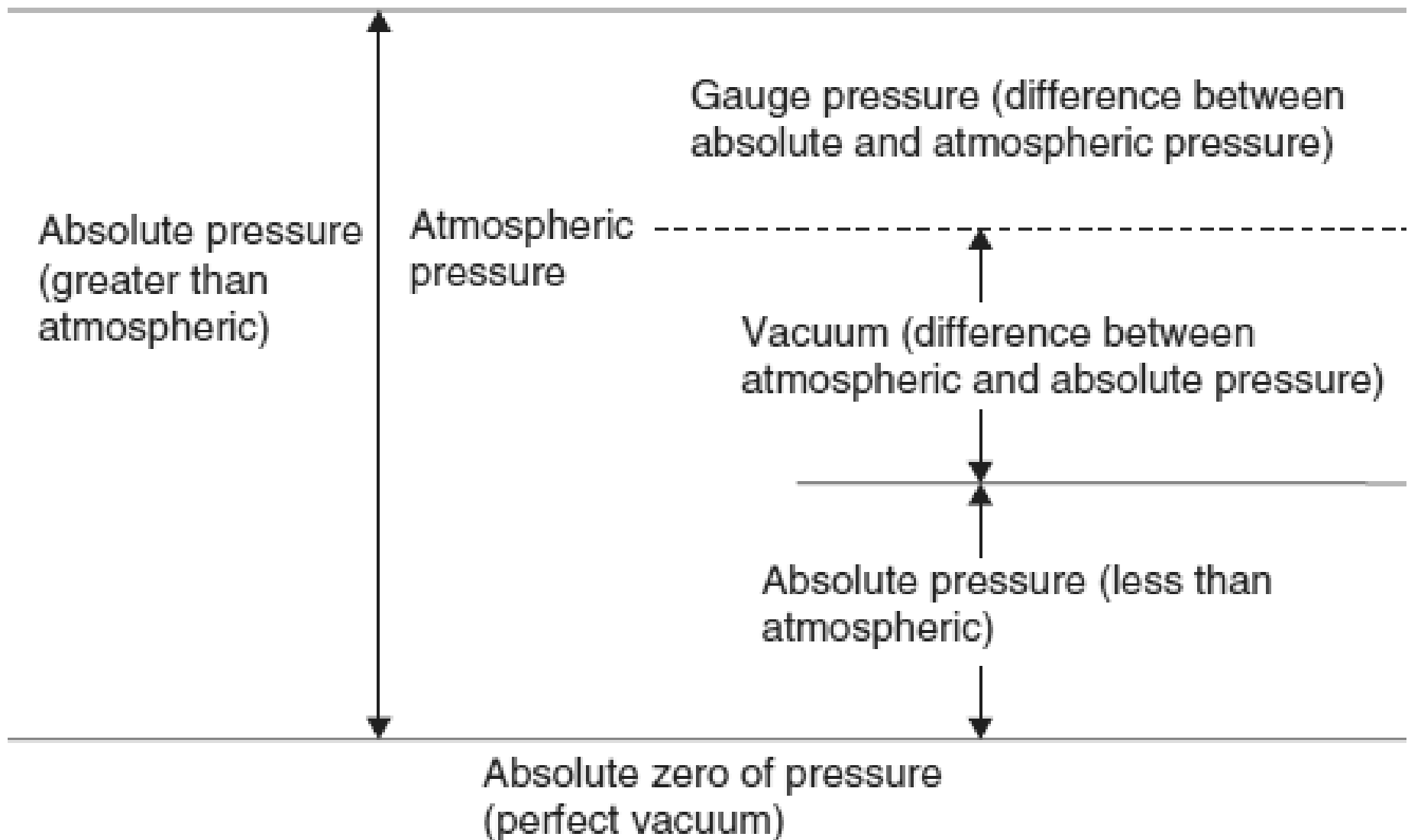
→ Sebenarnya membaca perbedaan antara tekanan mutlak dengan tekanan atm lokal.

- Tekanan gauge → tekanan diukur oleh *gauge*

$$P_{\text{mutlak}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}} \quad (\text{untuk tekanan} > P_{\text{atm}})$$

$$P_{\text{vakum}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{mutlak}} \quad (\text{untuk tekanan} < P_{\text{atm}})$$

- Sistem British,  $P_{\text{atm}} = 0$  inHg
- Vakum sempurna = 29,92 inHg
- Tekanan 15 inHg > 20 inHg
  
- Sistem SI, pada kondisi vakum sempurna, tekanan mutlak = 0 Pa (ingat 1 atm = 101,325 kPa)
  
- $P_{\text{atm}} = 3,38638 \times 10^3 (29,92 - I)$
- $P_{\text{atm}}$  dalam Pa &  $I$  dalam inHg.



■ Illustration of the relationships between the terms used to define pressure.

- Istilah “Tekanan” → untuk cairan & gas
- “Tekanan” = Normal stress → untuk padatan
- “Tekanan” = *Height* atau *head* dari suatu fluida  
→ ketika melibatkan aliran fluida

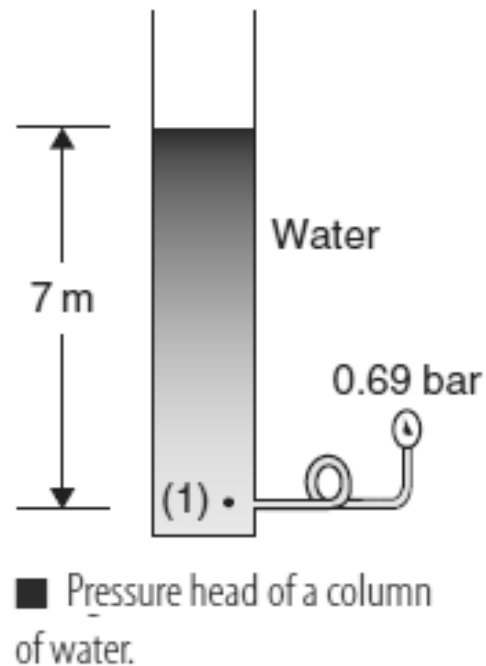
$$P = \rho g h$$

$P$  = tekanan mutlak (Pa),

$\rho$  = densitas fluida (kg/m<sup>3</sup>),

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>),

$h$  = *height* dari fluida (m).



- Tekanan air pada semua titik di dasar tangki tidak dipengaruhi oleh diameter tangki tetapi oleh ketinggian air
- Ketinggian air → *static head*
- Tekanan *gauge* = 0,69 bar (10 psig = 10 lb/in<sup>2</sup>) oleh setinggi air dengan ketinggian 7 m.
- *Static head* pada (1) = 7 m air
- Jika ada cairan lain selain air → tekanan berubah → *specific gravity* cairan berbeda
- Tangki berisi gasolin (*specific gravity* = 0,75), tekanan yg sama (0,69 bar) dikeluarkan oleh setinggi gasolin pada ketinggian 9,38 m
- *static head* = 9,38 m gasolin.

# ENTALPI

$$H = E_i + PV$$

$H$  = entalpi (kJ),  $E_i$  = energi internal (kJ),  $P$  = tekanan (kPa),  $V$  = volume ( $m^3$ ).

$$H' = E_i' + PV'$$

$H$  = entalpi per satuan massa (kJ/kg),  $E_i'$  = energi internal per satuan massa (kJ/kg),  $V'$  = volume spesifik ( $m^3/kg$ ).

- Nilai entalpi  $\rightarrow$  relatif terhadap *reference*.  
Contoh: Tabel steam menunjukkan entalpi steam, dengan asumsi bahwa pada  $0^\circ\text{C}$  entalpi cairan jenuh (air) adalah nol.

# ***EQUATION OF STATE & PERFECT GAS LAW***

- *Equation of state* → hubungan fungsional antar sifat-sifat (*properties*) dari sebuah sistem
- Suatu gas ideal (sempurna)

$$PV' = RT_A$$

atau

$$P = \rho RT_A$$

- $P$  = tekanan mutlak (Pa),  $V$  = volume spesifik ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ),  $R$  = konstanta gas ( $\text{m}^3 \text{ Pa}/[\text{kg K}]$ ),  $T_A$  = suhu mutlak (K),  $\rho$  = densitas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

- Pada suhu ruang, gas hidrogen, nitrogen, helium, & oksigen mengikuti hukum gas ideal.

$$PV = nR_0T_A$$

$V$  = volume ( $m$  kg atau  $n$  mol),  $m^3$

$R_0 = M * R$  = konstanta gas universal,  
independen terhadap *nature* dari gas, 8314,41  
 $m^3Pa/(kg \text{ mol K})$

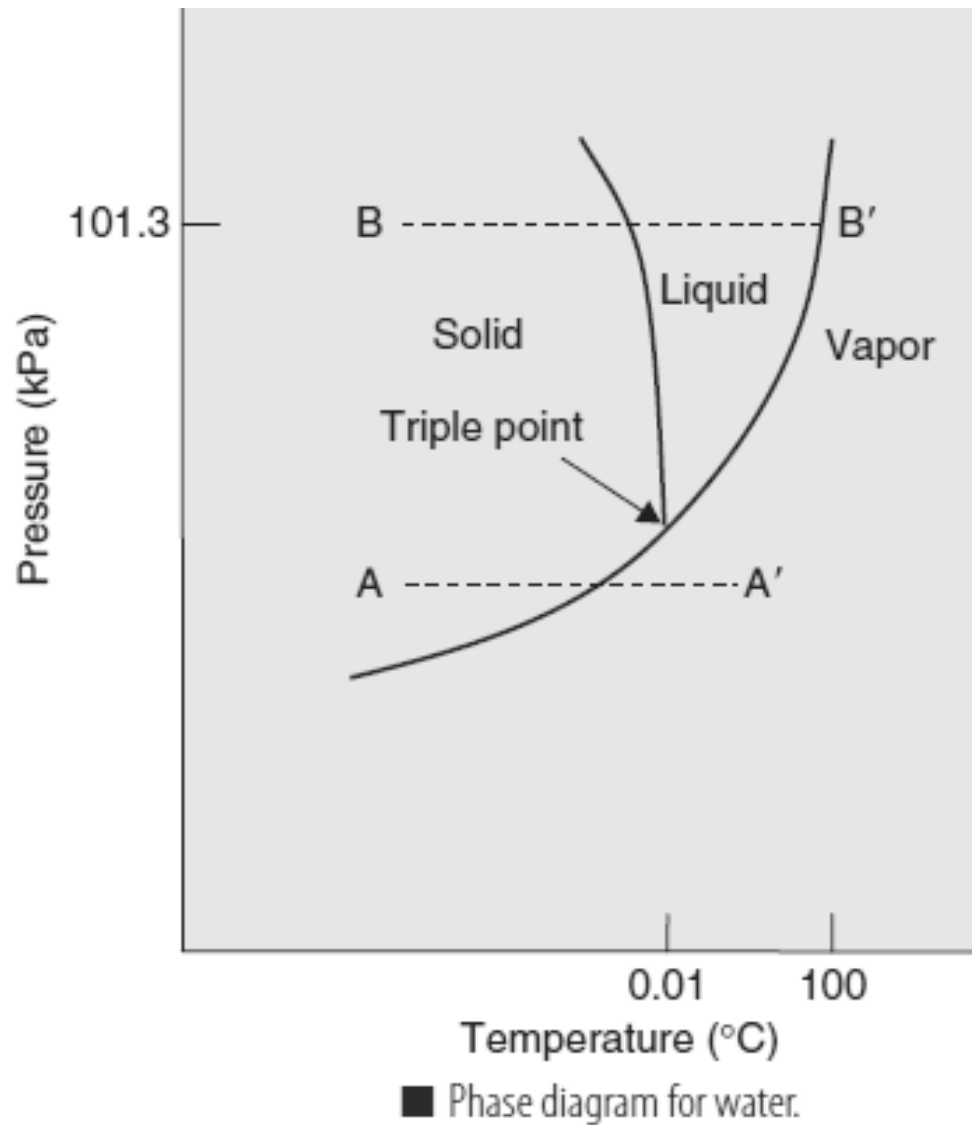
$M$  = berat molekul suatu substansi.



# DIAGRAM FASE AIR

- Uap jenuh (*saturated vapor*) → ketika suatu substansi berada sebagai uap pada suhu & tekanan jenuh.
- Suhu jenuh (*saturation temperature*) → suhu ketika penguapan (*vaporisasi*) terjadi pada tekanan tertentu → Tekanan jenuh (*saturation pressure*).
- Air pada 100°C memiliki tekanan jenuh 101,3 kPa.
- *Superheated vapor* → jika suhu uap > suhu jenuh pada tekanan tersebut

- Cairan jenuh (*saturated liquid*) → jika satu substansi berada dalam keadaan cair pada suhu & tekanan jenuh.
- *Subcooled liquid* → Jika pada tekanan jenuh, suhu cairan turun di bawah suhu jenuh
- Mutu uap (*quality of the vapors*) → rasio massa uap air terhadap massa substansi total  
→ (jika pada suhu jenuh, satu substansi berada sebagian sebagai cairan & sebagian sebagai uap)
- Contoh, jika steam tersusun dari 0,1 kg air & 0,9 kg uap, *quality of steam* =  $0,9 / 1,0 = 0,9$  atau 90%.



Banyak digunakan untuk mempelajari, misalnya:

- ekstraksi,
- kristalisasi,
- distilasi,
- presipitasi,
- *freeze concentration.*

# TERMODINAMIKA

- Dasar untuk mempelajari fenomena umum yang terjadi dalam pengolahan makanan.
- Termodinamika klasikal → pendekatan tingkat makroskopik
- Termodinamika statistika → pendekatan tingkat molekuler
  
- Contoh aplikasi termodinamika
  - menghitung efek panas & kerja dari suatu proses
  - menentukan bagaimana melakukan proses dengan kerja minimum

# Hukum Termodinamika

- **Hukum Pertama**

→ kekekalan energi

- *Energi dalam satu sistem terisolasi akan tetap konstan.*
- *Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan tetapi dapat diubah bentuknya.*

- **Hukum kedua**

- arah perpindahan atau perubahan energi

- *No process is possible whose sole result is the removal of heat from a reservoir (system) at one temperature and the absorption of an equal quantity of heat by a reservoir at a higher temperature.*

- panas selalu mengalir dari objek panas ke objek dingin;

- 2 gas dalam satu ruangan akan bercampur, tapi tidak akan secara spontan terpisah setelah tercampur

- tidak bisa dibuat mesin yang beroperasi secara kontinyu sambil menerima panas dari *reservoir* tunggal & menghasilkan jumlah kerja yang setara

- jumlah dan mutu energi



# E N E R G I

- Skalar; satuan ex.: Joule, Btu, kalori
- Bentuk: potensial, kinetik, kimiawi, magnetik, atau listrik.

$$E_p = m g h$$

$$E_k = \frac{1}{2} m u^2$$

→ *macroscopic*;

- Energi internal → *microscopic*  
Pergerakan, benturan, vibrasi, rotasi, dll, dari atom-atom suatu substansi

- Nilai mutlak dari energi internal tidak dapat diukur tapi dapat dikaitkan dengan sifat (*properties*) lain seperti suhu dan tekanan.

- Energi total dari satu sistem

$$E_{\text{TOT}} = E_{\text{K}} + E_{\text{P}} + E_{\text{LIS}} + E_{\text{MAG}} + E_{\text{KIM}} + \dots + E_{\text{i}}$$

$$E_{\text{TOT}} = E_{\text{K}} + E_{\text{P}} + E_{\text{i}}$$





# D A Y A (*POWER*)

- Dimensi:  
(massa) (panjang)<sup>2</sup> (waktu)<sup>-3</sup>
- Satuan:  
watts (W) (SI).  
horsepower (hp) (British)  
1 hp = 0,7457 kW.

# LUASAN (*AREA*)

Contoh penggunaan:

- Perhitungan → pindah panas & massa
- Proses tertentu dapat meningkatkan luas permukaan, misal:
  - Sebelum *spray drying*.
  - *Canning* → rasio luas area terhadap volume

Surface Area of Foods	
	Mean surface area (cm <sup>2</sup> )
Apple, Delicious	140.13
Pear, Bartlett	145.42
Plum, Monarch	35.03
Egg (60 g)	70.5
<i>Source: Mohsenin (1978)</i>	

# BUAT DIAGRAM ALIR PROSES PENGOLAHAN PANGAN

