

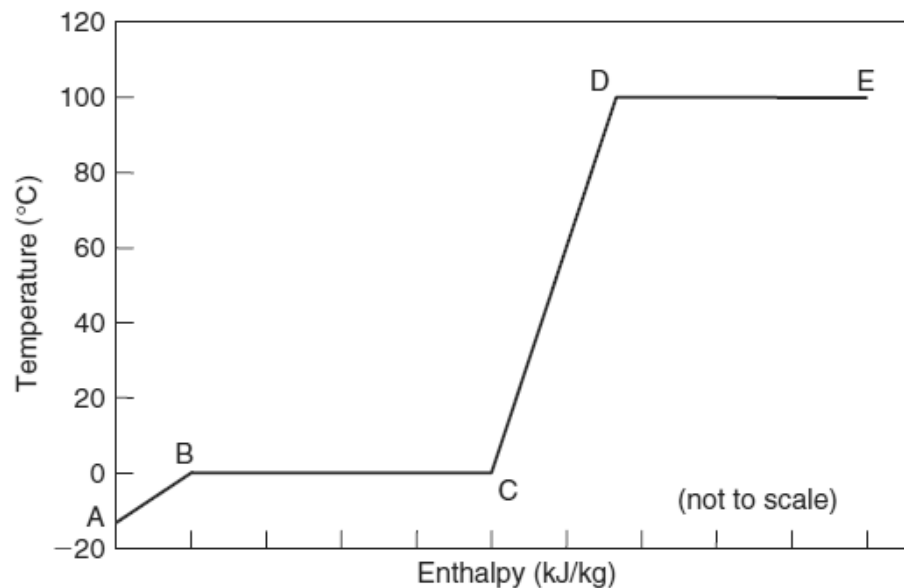
KESETIMBANGAN ENERGI

Soal 1

- Tentukan panas spesifik dengan persamaan Siebel dari sari buah dengan jumlah padatan 45%.
- Jawaban : 2679,5 J / (kg.K)
- $C_{avg} = 837,36 (0,45) + 4186,8 (0,55)$

Soal 2

- Lima kg es bersuhu -10°C dipanaskan hingga mencair pada 0°C ; panas ditambahkan untuk menguapkan air. Uap jenuh keluar pada 100°C . Hitung perbedaan entalpi proses. Diketahui:



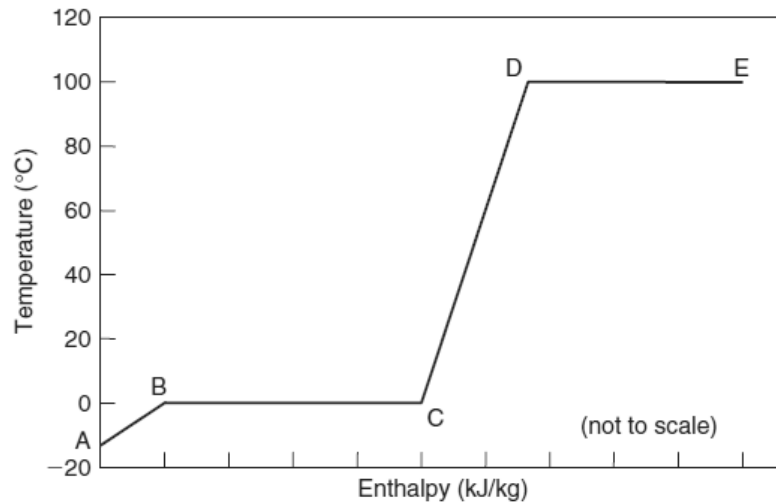
■ A plot of temperature versus enthalpy for melting of ice and vaporization of water.

Panas spesifik:

- es $2,05 \text{ kJ}/(\text{kg K})$,
- air $4,182 \text{ kJ}/(\text{kg K})$,

Panas laten:

- fusi pada 0°C : $333,2 \text{ kJ}/\text{kg}$,
- penguapan pada 100°C : $2257,06 \text{ kJ}/\text{kg}$.



■ A plot of temperature versus enthalpy for melting of ice and vaporization of water.

1. Zone A–B

$$\begin{aligned}\Delta H_{AB} &= \Delta Q = m \int_{-10}^0 c_p dT \\ &= 5(\text{kg}) \times 2.05 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) (0 + 10)^\circ\text{C} \\ &= 102.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

2. Zone B–C

$$\begin{aligned}\Delta H_{BC} &= mH_{\text{latent}} \\ &= 5(\text{kg}) \times 333.2 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ &= 1666 \text{ kJ}\end{aligned}$$

3. Zone C–D

$$\begin{aligned}\Delta H_{CD} &= \Delta Q = m \int_0^{100} c_p dT \\ &= 5(\text{kg}) \times 4.182 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \times (100 - 0)(^\circ\text{C}) \\ &= 2091 \text{ kJ}\end{aligned}$$

4. Zone D–E

$$\begin{aligned}\Delta H_{DE} &= mH_{\text{latent}} \\ &= 5(\text{kg}) \times 2257.06 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ &= 11,285.3 \text{ kJ}\end{aligned}$$

5. Total change in enthalpy

$$\begin{aligned}\Delta H &= \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CD} + \Delta H_{DE} \\ &= 102.5 + 1666 + 2091 + 11,285.3 \\ &= 15,144.8 \text{ kJ}\end{aligned}$$

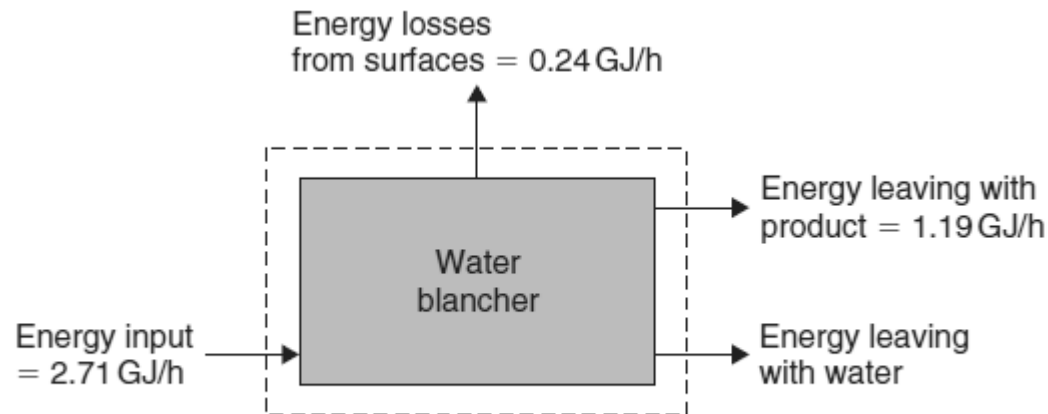
It is evident that almost 70% of the enthalpy is associated with the vaporization process.

Soal 3

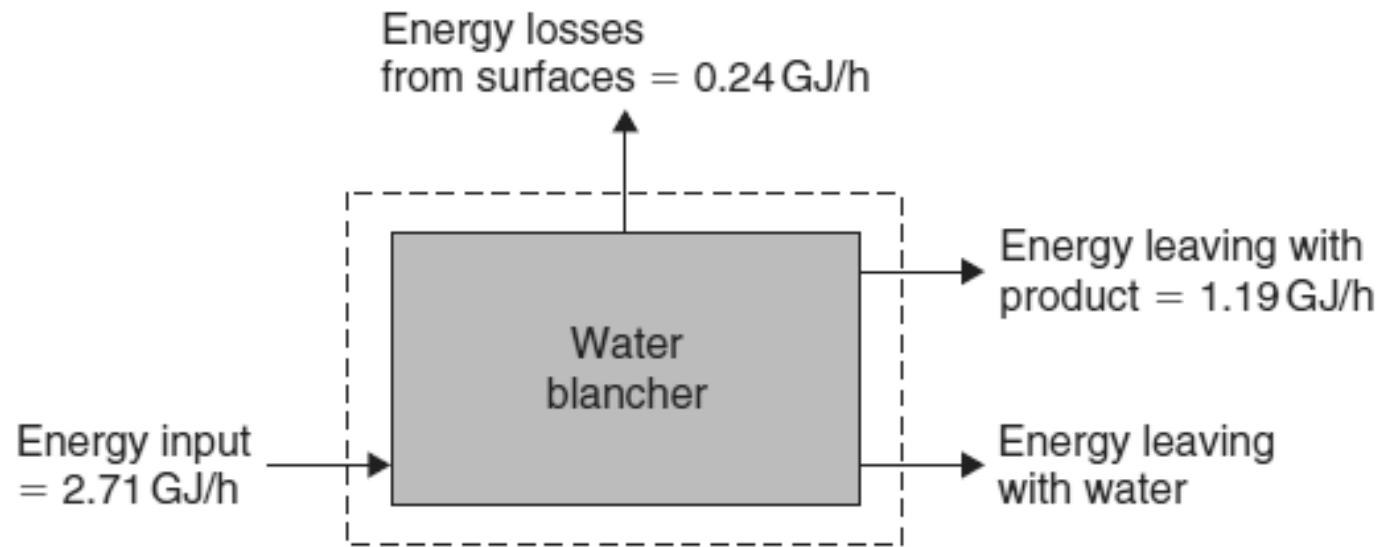
- Berapa panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 4 kg daging panggang yang mengandung 15% protein, 20% lemak dan 65% air dari suhu 4,5°C menjadi 70°C ? Nyatakan dalam Joule dan dalam Btu (1 Btu = 1055 J)
- $c_{avg} = 3182 \text{ J / (kg.K)}$
- $q = m c_p (T_2 - T_1)$

Soal 4

- Blanching kacang; laju alir massa produk 860 kg/jam. Energi yang dikonsumsi dalam proses blanching 1,19 GJ/jam. Energi hilang karena insulasi yang buruk sebesar 0,24 GJ/jam. Total energi masuk ke *blancher* 2,71 GJ/jam, Hitung:
 - a. Energi untuk memanaskan kembali (*reheat*) air.
 - b. Persentase energi pada masing-masing aliran.



■ A schematic of a water blancher.



1. *Select 1 h as a basis.*
2. *Energy balance may be written as follows:*
Energy input to blancher = energy out with product + energy loss due to lack of insulation + energy out with water
3. *Substituting appropriate values in the energy balance,*

$$2.71 = 1.19 + 0.24 + E_W$$

we get

$$E_W = 1.28 \text{ GJ/h}$$

- Jadi energi untuk memanaskan lagi (*re-heat*) air untuk blanching = $2,71 - 1,28 = 1,43$ GJ/jam.
- 4. *These values can be converted to percentage of total thermal input as follows:*

$$\text{Energy out with product} = \frac{(1.19)}{2.71} (100) = 43.91\%$$

$$\text{Energy loss due to lack of insulation} = \frac{(0.24)(100)}{2.71} = 8.86\%$$

$$\text{Energy out with water} = \frac{(1.28)(100)}{2.71} = 47.23\%$$

- 5. *The results indicate that this water blancher operates at about 44% thermal energy efficiency.*

Soal 5

- Pengupasan kentang secara semi-kontinyu menggunakan steam. Laju pasokan steam 4 kg per 100 kg kentang non-kupas. Suhu kentang 17C, suhu kentang kupas keluar sistem 35C. Suhu aliran limbah 60C. Hitung jumlah limbah dan kentang kupas

Panas spesifik:

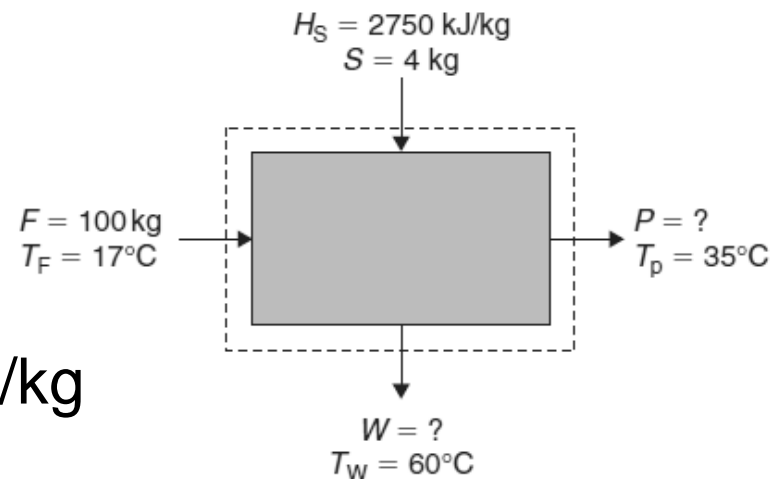
kentang non-kupas 3,7

limbah 4,2

kentang kupas 3,5 kJ/(kg K).

Heat content dari steam 2750 kJ/kg

(asumsi **suhu reference** 0C),



■ A block diagram showing various streams

T-reference digunakan sebagai acuan suhu mula-mula dari suatu kondisi material

1. Select 100 kg of unpeeled potatoes as a basis.
2. From mass balance

$$F + S = W + P$$

$$100 + 4 = W + P$$

$$W = 104 - P$$

3. From energy balance

$$F C_p (T_F - 0) + S H_s = W C_p (T_w - 0) + P C_p (T_p - 0)$$

$$100(3.7)(17) + 4(2750) = W(4.2)(60) + P(3.5)(35)$$

$$6290 + 11,000 = 252W + 122.5P$$

4. From step (3)

$$17,290 = 252(104 - P) + 122.5P$$

$$252P - 122.5P = 26,208 - 17,290 = 8918$$

$$P = 68.87 \text{ kg}$$

$$W = 35.14 \text{ kg}$$

Soal 6

- Sebuah mesin pengering memerlukan bahan bakar gas sebanyak $4 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan nilai kalori 800 kJ/mol . Kapasitas mesin tersebut adalah 60 kg bahan basah, dengan menurunkan kadar air dari 55% menjadi 10% .

Perkirakan efisiensi termal keseluruhan dengan hanya memperhitungkan panas laten.

(Asumsi gas STP $1 \text{ mol} = 22,4 \text{ liter}$; panas laten penguapan = 2257 kJ/kg)

60 kg bahan basah (k.air 55%), mengandung
33 kg air + 27 kg padatan

- Bahan kering (k.air 10%) mengandung 3 kg air
- Air yang hilang = 30 kg/jam
- Panas yang dibutuhkan = $30 \times 2257 = 6,8 \times 10^4$ kJ/jam
- Laju alir gas = $4 \text{ m}^3/\text{jam} = 179 \text{ mol}/\text{jam}$
- Panas yg dihasilkan = $179 \times 800 = 14,3 \times 10^4$ kJ/jam
- Estimasi efisiensi termal mesin pengering
= panas yg dibutuhkan / panas yang dihasilkan
= 48 %

→ Untuk perhitungan yg lebih akurat, perlu juga diperhitungkan panas sensibel

Soal 7

- 1000 kaleng sup (@ 60 g dengan isi 0,45 kg sup) disterilisasi dlm autoklaf pada suhu 100C. Setelah itu dilakukan pendinginan hingga 40C dengan aliran air (masuk 15C, keluar 35C). Berapa banyak air pendingin yang dibutuhkan?
- Panas spesifik sup = 4,1 kJ/ (kg. °C)
- Panas spesifik kaleng = 0,5 kJ/ (kg. °C)
- Panas spesifik air = 4,186 kJ/ (kg. °C)
- Asumsi : kandungan panas dalam dinding autoklaf > 40C = $1,6 \cdot 10^4$ kJ; tidak ada kehilangan panas melalui dinding
- Suhu reference = 40C

- ***Panas masuk***

- Panas pada kaleng = $1000 \cdot 0,06 \cdot 0,5 \cdot (100 - 40)$
= $1,8 \cdot 10^3$ kJ

- Panas pada sup = $1000 \cdot 0,45 \cdot 4,1 \cdot (100 - 40)$
= $1,1 \cdot 10^5$ kJ

- Panas pada air = $x \cdot 4,186 \cdot (15 - 40) = -104,6 \cdot x$ kJ

- ***Panas keluar***

- Panas pada kaleng = $1000 \cdot 0,06 \cdot 0,5 \cdot (40 - 40)$

- Panas pada sup = $1000 \cdot 0,45 \cdot 4,1 \cdot (40 - 40)$

- Panas pada air = $x \cdot 4,186 \cdot (35 - 40) = -20,9 \cdot x$ kJ

Heat-Energy Balance of Cooling Process 40C

Heat entering (kJ)		Heat leaving (kJ)	
Heat in cans	1800	Heat in cans	0
Heat in soup	110 000	Heat in soup	0
Heat in walls	16 000	Heat in walls	0
Heat in water	-104,6x	Heat in water	-20,9 x
Total	127 800 – 104,6 x	Total	-20,9 x
<p>Total heat entering = total heat leaving</p> $127800 - 104,6 x = - 20,9 x$ $x = 1527 \text{ kg}$			

Soal 8

- Dilakukan pembekuan 10.000 roti (@ 0,75 kg) dari suhu awal 18°C menjadi -18°C. Kebutuhan panas maksimum untuk pembekuan adalah dua kali lipat kebutuhan rata-rata, hitung kebutuhan maksimum ini jika waktu pembekuan selama 6 jam. Diketahui entalpi/temperature untuk roti k.air 36% $H_{18.3^{\circ}\text{C}} = 210,36 \text{ kJ kg}^{-1}$, $H_{-17.3^{\circ}\text{C}} = 65.35 \text{ kJ kg}^{-1}$.

$T^{\circ}\text{C}$	=	-20.6	-17.8	15.6	18.3
$H \text{ kJ kg}^{-1}$	=	55.88	65.35	203.4	210.4

- Jika tidak tersedia informasi data → Lihat Tabel data (misal dari Earle)
- Panas spesifik *above freezing?* *below freezing?*
Panas laten pembekuan? (ambil nilai tengah, misal 115), suhu pembekuan? Kadar air? (ambil nilai tengah, misal asumsi 36%)

APPENDIX 7

THERMAL DATA FOR SOME FOOD PRODUCTS

	Freezing point (°C)	Percent water	Specific heat (kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹)		Latent heat of fusion (kJ kg ⁻¹)
			above freezing	below freezing	
Miscellaneous					
Beer	-2	92	4.19	2.01	301
Bread	-2	32-37	2.93	1.42	109-121
Eggs	-3		3.2	1.67	276

(Alternatif. a)

- $\Delta H = [18 - (-2)] 2,93 + 115 + [-2 - (-18)] 1,42 = 196 \text{ kJ kg}^{-1}$.

(Alt. b)

- $c \text{ above freezing} = 4,186 \times 0,36 + 0,837 \times 0,64 = 2,05 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,
- $c \text{ below freezing} = 2,093 \times 0,36 + 0,837 \times 0,64 = 1,29 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,
- Panas laten = $0,36 \times 333$ (versi lain 335) = 121 kJ kg^{-1} .
- $\Delta H = [18 - (-2)] 2,05 + 121 + [-2 - (-18)] 1,29 = 183 \text{ kJ kg}^{-1}$.

	$T^{\circ}\text{C}$	=	-20.6	-17.8	15.6	18.3
(Alt. c)	$H \text{ kJ kg}^{-1}$	=	55.88	65.35	203.4	210.4

- Dari +18°C ke -18°C,
- $\Delta H = 210 - 65 = 145 \text{ kJ kg}^{-1}$

(Alt. d)

- Panas spesifik "apparent" $\Delta H / \Delta T = c$
- $c_{-18} = \Delta H / \Delta T = (65,35 - 55,88) / (20,6 - 17,8) = 3,4 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $c_{18} = \Delta H / \Delta T = (210,4 - 203,4) / (18,3 - 15,6) = 2,6 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Panas spesifik "apparent" pada -18C (Alt. d) lebih tinggi dari panas spesifik below freezing (Alt. a & b) → pembekuan masih berlangsung pada suhu tsb. Pada -18C hanya 2/3 air yg membeku (hanya 2/3 panas laten diekstrak pada suhu ini)

- Jadi...
- Misal kita pakai $\Delta H = 150 \text{ kJ kg}^{-1}$
- Perubahan panas total = $150 \times 10.000 \times 0,75 = 1,125 \times 10^6 \text{ kJ}$.
- Waktu Total = 6 jam = $2,16 \times 10^4 \text{ s}$.
- $\Delta H / \Delta t = 52 \text{ kJ s}^{-1} = 52 \text{ kW}$ rata-rata.
- $\Delta H / \Delta t \text{ max} = 2 \times 52 = 104 \text{ kW}$.