

FISIKA III

Minggu 1 (NO ABSEN)
March 19, 2021

1 Termometri dan Kalorimetri

1.1 Konsep Temperatur

Temperatur adalah ukuran panas atau dinginnya suatu benda, bisa juga diartikan dengan ukuran **energi kinetik molekular internal rata-rata suatu benda**.

Energi termal adalah energi total semua molekul suatu benda. Dan panas adalah transfer energi dari suatu benda ke benda lain karena perbedaan temperatur (beda dengan energi termal), jadi panas adalah relatif tergantung selisih perbedaan temperatur.

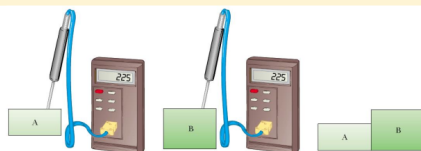
Contoh :

50 gram air 30°C dicampur dengan 200 gram air 25°C , terjadi aliran panas dari air 30°C ke 25°C walaupun air 25°C mempunyai energi termal yang lebih besar (karena memiliki massa yang lebih besar). Temperatur akhir campuran terjadi apabila telah tercapai **kesetimbangan termal**.

1.1.1 Hukum Ke-0 Termodinamika (Hukum Keseimbangan)

Jika objek A dan B terpisah dalam kesetimbangan termal dengan objek C, maka A dan B berada pada kesetimbangan termal dengan satu sama lain.

If objects A and B are separately in thermal equilibrium with a third object C, then A and B are in thermal equilibrium with each other.



1.1.2 Ukuran Kualitatif temperatur

Biasa disebut dingin, panas, hangat, dsb. Ukuran kualitatif tersebut dicari dengan memanfaatkan **sifat termometris** benda (sifat fisis yang berubah karena perubahan temperatur) seperti hambatan listrik, padatan dan yang memuai, tekanan gas pada volume tetap, volume gas pada tekanan tetap, warna kawat pijar, dsb.

1.2 Pengukuran Temperatur (Termometer)

Temperatur pada nilai tertentu adalah

$$T(x) = ax$$

Dimana:

x = Sifat Termometris

a = Konstanta (tergantung jenis bahan)

Jika dijadikan formula perbandingan menjadi seperti berikut

$$\frac{T(x)}{T(x_s)} = \frac{ax}{ax_s}$$

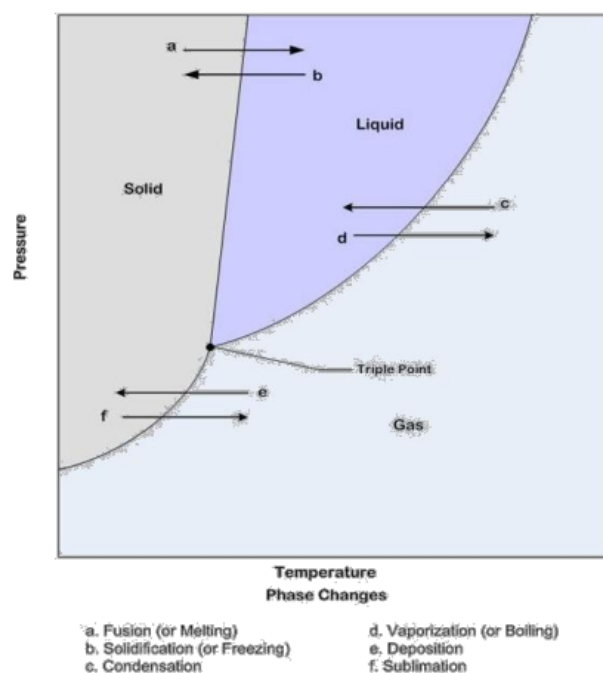
$$T(x) = T(x_s) \frac{x}{x_s}$$

Untuk menera termometer digunakan titik standar yang tetap yaitu titik tripel air

$$[T(x_s) = 273.16 \text{ K (kelvin)}]$$

$$T(x) = (273.16 \text{ K}) \frac{x}{x_s}$$

Titik tripel air bisa digambar dalam grafik diagram fasa sebagai berikut



Contoh:

Sebuah termometer hambatan (platina) mempunyai hambatan R sebesar $90,35 \Omega$ bila pentolan (bulb) termometer ditempatkan di dalam sebuah sel titik tripel. Berapakah harga temperaturnya jika pentolan tersebut ditempatkan di dalam sebuah lingkungan hingga hambatannya berharga $96,28 \Omega$?

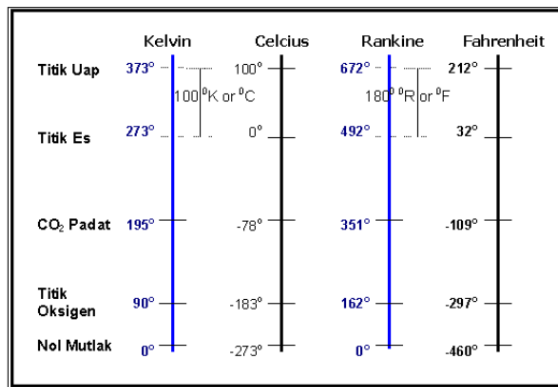
Penyelesaian:

Sifat termometris termometer ini berupa hambatan listrik.

$$T(x) = (273.16 \text{ K}) \frac{x}{x_s}$$

$$T(x) = (273.16 \text{ K}) \frac{96.28 \Omega}{90.35 \Omega}$$

$$T(x) = 280.6 \text{ K}$$

1.3 Skala Temperatur

Dimana

$$T_C = T_K - 273.16$$

$$T_R = \frac{9}{5} T_K$$

$$T_F = T_R - 459.67$$

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$

Contoh:

Titik lebur perak dalam skala Fahrenheit adalah $1760^\circ F$. Nyatakan titik lebur tersebut dalam $^\circ C$, $^\circ K$, $^\circ R$

Penyelesaian:

Pertama menentukan titik lebur perak pada skala Celcius.

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$

$$T_C = \frac{5}{9} (T_F - 32)$$

$$= \frac{5}{9} (1760 - 32)$$

$$= 960^\circ C$$

Selanjutnya dapat dicari temperatur pada skala kelvin

$$T_C = T - 273.16$$

$$T = T_C + 273.16$$

$$= 1233.16 \text{ K}$$

Untuk memperoleh temperatur dalam skala Rankine dapat diperoleh langsung dari skala Fahrenheit sebagai berikut

$$T_F = T_R - 459.67$$

$$T_R = T_F + 459.67$$

$$= 1760 + 459.67$$

$$= 2219,67^\circ R$$

1.4 Pemuaian

Pemuaian terbagi menjadi beberapa jenis dengan rumus yang berbeda-beda.

Perubahan panjang karena perubahan temperatur:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Dimana α adalah koefisien muai panjang (tergantung material).

Perubahan Luasan karena perubahan temperatur:

$$\Delta A = \gamma A \Delta T$$

$$A = A_0 (1 + \gamma \Delta T)$$

dimana γ adalah koefisien muai luas dan $\gamma = 2\alpha$. Pada umumnya, koefisien muai luas disimbolkan dengan β . Kita tidak boleh terjebak oleh simbol, karena tiap *textbook* akan memiliki persimbolan yang berbeda-beda.

Perubahan volume karena perubahan temperatur:

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

$$V = V_0 (1 + \beta \Delta T)$$

dimana β adalah koefisien muai volume/ruang dan $\beta = 3\alpha$. Pada umumnya, koefisien muai volum disimbolkan dengan γ . Kita tidak boleh terjebak oleh simbol, karena tiap *textbook* akan memiliki persimbolan yang berbeda-beda.

Dari ketiga rumus pemuaian tersebut mempunyai rentang tertentu dimana persamaan tersebut dianggap benar. Contoh, jika logam dipanasi sampai melewati titik leburnya, maka pemuaian panjang tidak lagi berlaku. Atau dengan kata lain, **rumus tersebut HANYA berlaku sampai ΔT tertentu.**

Aplikasi dari pemuaian adalah Bimetal dimana ada 2 logam yang dibuat berlapis, karena perbedaan koefisien muai panjang, maka jika ada perubahan temperatur, lempengan logam tersebut akan melengkung.

Average Expansion Coefficients for Some Materials Near Room Temperature			
Material	Average Linear Expansion Coefficient (α) ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹	Material	Average Volume Expansion Coefficient (β) ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹
Aluminum	24×10^{-6}	Alcohol, ethyl	1.12×10^{-4}
Brass and bronze	19×10^{-6}	Benzene	1.24×10^{-4}
Copper	17×10^{-6}	Acetone	1.5×10^{-4}
Glass (ordinary)	9×10^{-6}	Glycerin	4.85×10^{-4}
Glass (Pyrex)	3.2×10^{-6}	Mercury	1.82×10^{-4}
Lead	29×10^{-6}	Turpentine	9.0×10^{-4}
Steel	11×10^{-6}	Gasoline	9.6×10^{-4}
Invar (Ni-Fe alloy)	0.9×10^{-6}	Air ^a at 0°C	3.67×10^{-3}
Concrete	12×10^{-6}	Helium ^a	3.665×10^{-3}

Contoh:

Volume bola termometer air raksa dalam gelas pada 0°C adalah 0.15 cm^3 , sedangkan luas penampang tabungnya 10^{-3} m^2 . Koefisien muai panjang gelas adalah $5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, sedangkan koefisien muai ruang air raksa $0.182 \times 10^{-3} \text{ degreeC}^{-1}$. Kalau pada 0°C air raksa tepat memenuhi seluruh bola, berapa tinggi kolom air raksa pada temperatur 100°C ?

Penyelesaian:

Volume air raksa pada 100°C :

$$\begin{aligned} V_{Hg} &= V_0(1 + \beta\Delta T) \\ &= 0.15 \text{ cm}^3 (1 + 0.182 \times 10^{-3} \times 100) \\ &= 0.15273 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volume bola pada 100°C :

$$\begin{aligned} V_{bola} &= V_0(1 + 3\alpha_{gelas}\Delta T) \\ &= 0.15 \text{ cm}^3 (1 + 3 \times 5 \times 10^{-6} \times 100) \\ &= 0.150225 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volume air raksa yang keluar dari bola pada 100°C :

$$V_{Hg} - V_{bola} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

Luas penampang tabung pada 100°C :

$$\begin{aligned} A_{100} &= A_0(1 + 2\alpha\Delta T) \\ &= 10^{-3} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga tinggi kolom air raksa adalah:

$$\begin{aligned} h &= \frac{V_{Hg} - V_{bola}}{A_{100}} \\ &= \frac{2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^3}{10^{-3} \text{ cm}^2} \\ &= 2.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

1.5 Konsep Panas dan Perubahan Fase

Kapasitas Panas:

Jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur sebanyak 1°C .

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

Kapasitas Panas Jenis:

Kapasitas panas benda 1 gram

$$c = \frac{dQ}{m dT}$$

Jika c konstan, maka

$$Q = mc\Delta T$$

Kuantitas Panas Q:

Jumlah energi yang dipindahkan dalam kurun waktu tertentu. Satuan Q adalah **kalori, joule, BTU (British Thermal Unit)**.

Definisi **1 kalori** adalah jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 gram air sebesar 1°C , misal dari temperatur 14.5°C menjadi 15.5°C pada tekanan 1 atm.

- 1 kalori = 4.186 Joule
- 1 BTU = 251.996 kalori

Dulu, tepatnya pada abad ke-18, panas dimodelkan sebagai gerakan material dan fluida (caloric). Namun **sekarang, panas dimodelkan sebagai kerja dan energi.**

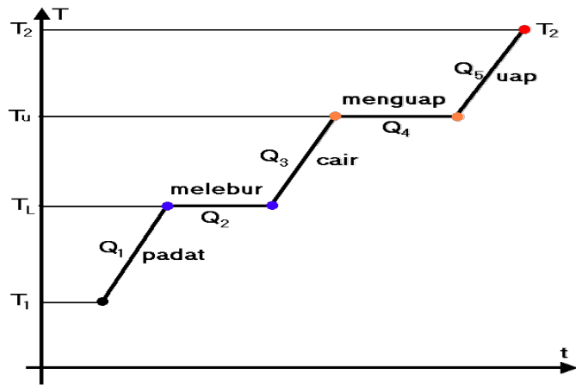
Perubahan Fase



Kuantitas panas pada perubahan fase ialah

$$Q = mL$$

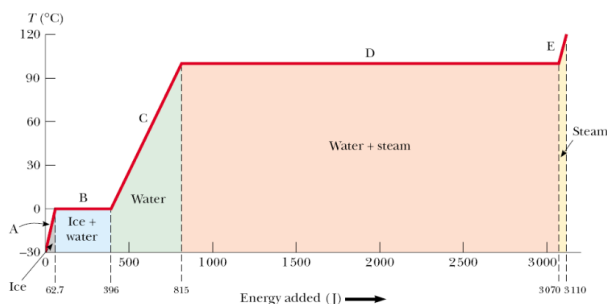
dimana L adalah panas laten.



Asas Black

"Panas yang dilepas sama dengan panas yang diterima"

$$Q_1 = Q_2$$



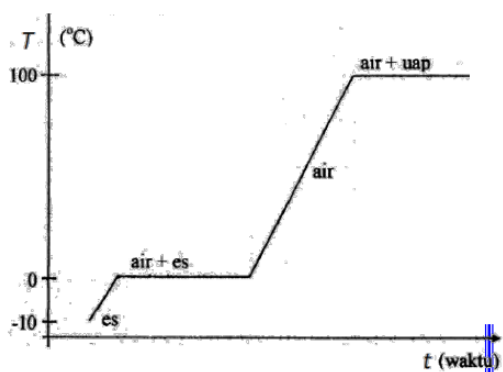
A plot of temperature versus energy added when 1.00 g of ice initially at -30.0°C is converted to steam at 120.0°C .

Contoh:

Suatu bejana berisi 1 kg es dengan temperatur -10°C . Kapasitas panas bejana dapat diabaikan. Kepada sistem diberi panas rata-rata 2000 kal/menit selama 100 menit.

- Buatlah diagram fase yang menyatakan hubungan antara temperatur dan waktu, dari es tersebut!
- Berapa banyaknya es yang menguap?

Penyelesaian



a)

b) Jumlah panas yang diberikan

$$Q = 2000 \text{ kal/menit} \times 100 \text{ menit} = 2.10^5 \text{ kal}$$

$$Es : -10^\circ\text{C} \text{ --- } 10^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = m c_{es} \Delta t = 10^3 \text{ gr. } 0,6 \text{ kal/gr K. } 10 \text{ K} = 6 \cdot 10^3 \text{ kal}$$

$$Es 0^\circ\text{C} \text{ --- } \text{air } 0^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = m L_{lebur} = 10^3 \text{ gr. } 1 \text{ kal/gr K. } 100 \text{ K} = 10^5 \text{ kal}$$

$$\text{Air } 0^\circ\text{C} \text{ --- } 100^\circ\text{C}$$

$$Q_3 = m c_{air} \Delta t = 10^3 \text{ gr. } 1 \text{ kal/gr K. } 100 \text{ K} = 10^5 \text{ kal}$$

$$\text{Air } 100^\circ\text{C} \text{ --- } \text{uap } 100^\circ\text{C}$$

$$Q_4 = m L_{uap} = 10^3 \text{ gr. } 540 \text{ kal/gr} = 5,4 \cdot 10^5 \text{ kal}$$

Jika semua es berubah menjadi uap, maka panas yang dibutuhkan adalah:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 6 \cdot 10^3 \text{ kal} + 8 \cdot 10^4 \text{ kal} + 10^5 \text{ kal} + 5,4 \cdot 10^5 \text{ kal} > Q$$

Jadi tidak semua air berubah menjadi uap.

Jumlah panas yang sisa untuk penguapan adalah :

$$2 \cdot 10^5 \text{ kal} - (6 \cdot 10^3 + 8 \cdot 10^4 + 10^5) \text{ kal} = 14 \cdot 10^3 \text{ kal.}$$

Jadi massa air yang berubah menjadi uap :

$$m = \frac{Q}{L} = \frac{14 \cdot 10^3 \text{ kal}}{540 \text{ kal/gr}} = 25,9 \text{ gr}$$

1.6 Kalorimeter

Kalorimeter adalah alat untuk menentukan kapasitas panas suatu zat.

