

TEMPERATUR

A. TEMPERATUR; Sebuah Kuantitas Makroskopis

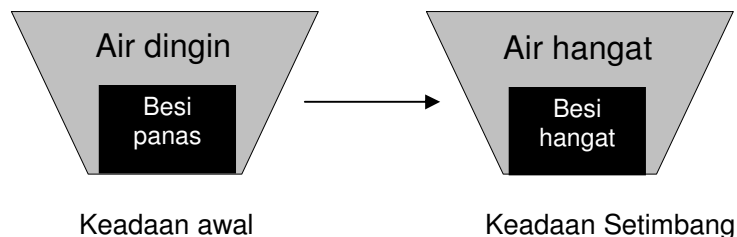
Secara kualitatif, temperatur dari sebuah objek (benda) dapat diketahui dengan merasakan sensasi panas atau dinginnya benda tersebut pada saat disentuh. Dengan demikian, temperatur merupakan ukuran panas-dingin suatu benda. Panas-dingin suatu benda berkaitan dengan energi kinetik (kecepatan atom-atom/molekul-molekul bergerak) yang terkandung dalam benda tersebut. Makin besar energi kinetiknya, makin besar temperaturnya.

Temperatur merupakan sifat kasar dari suatu sistem yang dapat ditangkap secara inderawi (bisa diamati di laboratorium), oleh karenanya dikatakan sebagai besaran *makroskopik*. Selain temperatur, kuantitas makroskopik yang lain diantaranya adalah volume dan tekanan. Kuantitas-kuantitas makroskopik tersebut membentuk dasar bagi pengembangan ilmu *termodinamika*.

Sedangkan energi kinetik sistem (termasuk di dalamnya adalah laju, massa, momentum, sifat tumbukan atom/molekul-molekul di dalam suatu sistem) merupakan kuantitas *mikroskopik* yang tidak dapat langsung diobservasi. Kuantitas-kuantitas ini, atau perumusan matematis yang didasarkan pada kuantitas-kuantitas tersebut, membentuk dasar bagi pengembangan ilmu *mekanika statistika*.

1. Kontak termal dan Kesetimbangan termal

Berikut akan ditunjukkan suatu keadaan dimana dua buah objek (yang berbeda temperaturnya) dimasukkan dalam satu wadah yang sama. Kondisi semacam ini dinamakan sebagai *kontak termal*. Dengan kata lain, dua buah benda dikatakan dalam keadaan kontak termal bila energi termal dapat bertukar diantara kedua benda tanpa adanya usaha yang dilakukan.



Gambar 1. Keseimbangan termal

Pada keadaan yang semacam ini, objek yang lebih tinggi temperaturnya akan mendingin, sedangkan objek yang lebih rendah temperaturnya akan menghangat sampai pada keadaan setimbang, yakni keadaan dimana kedua objek memiliki suhu yang sama (*thermal equilibrium*).

Kesetimbangan termal merupakan situasi yang menunjukkan bahwa dua benda yang dalam keadaan kontak thermal saling menukarkan energi termal dalam jumlah yang sama. Waktu yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan thermal tergantung sifat benda tersebut. Pada saat kesetimbangan thermal ke dua benda mempunyai temperatur yang sama.

Catatan tambahan:

- Sistem adalah suatu bagian materi yang dipisahkan dari lingkan luarnya,
- Lingkungan adalah segala sesuatu di luar sistem yang mempunyai pengaruh langsung kepada sifat sistem.

Uji Pemahaman:

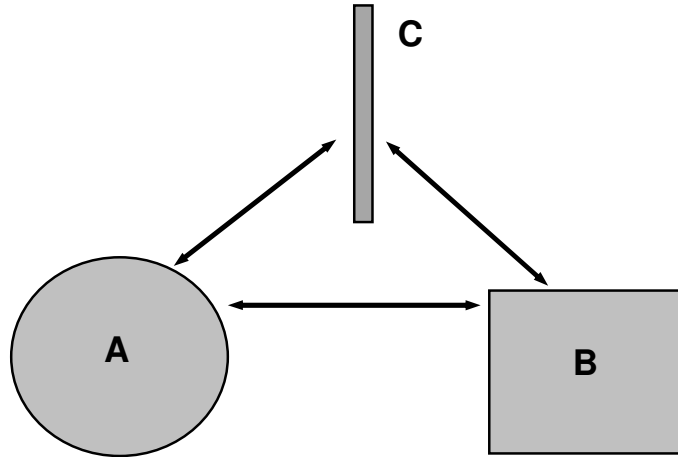
Pada peristiwa sebuah objek bergerak jatuh bebas, tentukan sistem dan lingkungannya!

Pada peristiwa sebuah tabung yang berisi suatu cairan dan dibawahnya dinyalakan bunsen (pemanas), tentukan sistem dan lingkungannya!

2. Hukum ke-nol Termodinamika

Eksperimen tentang kesetimbangan termal dapat dilakukan untuk lebih dari dua sistem. Sejumlah sistem dapat dibawa ke dalam keadaan kesetimbangan termal. Secara lebih definitif, keadaan ini digambarkan dalam Hukum Ke-Nol Termodinamika.

“Jika benda A dan B masing-masing dalam keadaan setimbang thermal dengan benda ke tiga C, maka benda A dan B dalam keadaan setimbang thermal terhadap satu sama lain”.



Gambar 2. Hukum ke-0 Termodinamika

Benda ketiga (C) inilah yang dikenal sebagai termometer. Dua benda A dan B yang dalam kesetimbangan termal mempunyai temperatur yang sama.

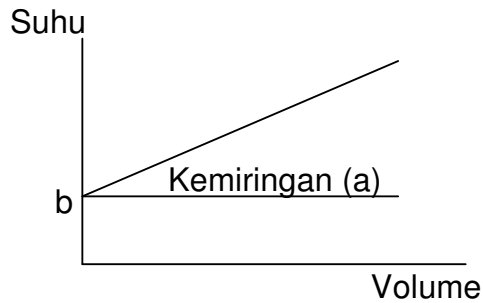
B. TERMOMETER

Secara kuantitatif, temperatur dari sebuah sistem dapat diukur dengan menggunakan instrumen yang disebut termometer. Termometer harus dibuat dari suatu bahan yang akan mengalami perubahan fisik (secara linier) jika kepadanya diberi perubahan suhu. Dengan kata lain, termometer terbuat dari bahan yang bersifat *termometrik* (sifat fisiknya bervariasi terhadap temperatur). Secara matematis hubungan linieritas antara temperatur (t) dengan perubahan sifat fisik bahan (x) adalah sebagai berikut:

$$T(x) = ax + b, \dots\dots\dots 1$$

a dan b merupakan suatu konstanta yang tergantung pada bahan yang digunakan dan dapat dicari dengan menentukan dua titik temperatur yang spesifik, misalnya 0°C untuk menunjukkan titik beku dan 100°C untuk menunjukkan titik didih.

Sebagai misal, raksa (*mercury*). Raksa merupakan salah satu bahan yang sangat responsif terhadap perubahan temperatur. Setiap kali temperatur naik, ia akan mengembang (volume bertambah) secara linier dan dapat dikalibrasi secara akurat.



Gambar 3. Grafik Hubungan Perubahan Volume Raksa (x) terhadap Perubahan Suhu (T)

Dengan dasar pemikiran tersebut, maka dapat dikembangkan sebuah termometer yang didasarkan pada beberapa sifat termometrik, di antaranya:

- a. Perubahan volume cairan
- b. Perubahan panjang kawat
- c. Perubahan hambatan kawat
- d. Perubahan volume gas pada tekanan konstan
- e. Perubahan tekanan gas pada volume konstan

Uji Pemahaman:

Dapatkah anda menjelaskan sekaligus memberikan contoh penggunaan masing-masing sifat termometrik di atas sebagai alat yang dapat digunakan untuk mengukur suhu?

Berikut akan disajikan beberapa jenis termometer yang dikembangkan berdasarkan beberapa sifat termometrik seperti yang telah ditunjukkan di atas.

1. Termometer gas volume konstan

Dengan menggunakan hubungan-hubungan sederhana antara kuantitas temperatur (T) , tekanan (p), dan volume (V) dari suatu gas, dapat dikembangkan termometer gas volume konstan. Ketiga besaran tersebut memiliki hubungan yang unik:

$pV = T$, (persamaan keadaan gas ideal)..... 2

Apabila suatu gas dipertahankan pada volume konstan, maka jika temperatur naik tekanan pada gas akan meningkat. Perubahan nilai tekanan tersebut berlangsung secara linier sehingga dapat dijadikan sebagai alat pengukur temperatur. Dengan

demikian dapat dikatakan bahwa sifat termometrik dari termometer gas volume konstan adalah tekanan gas yang bervariasi terhadap temperatur.

$$T = ap + b \dots\dots\dots 3$$

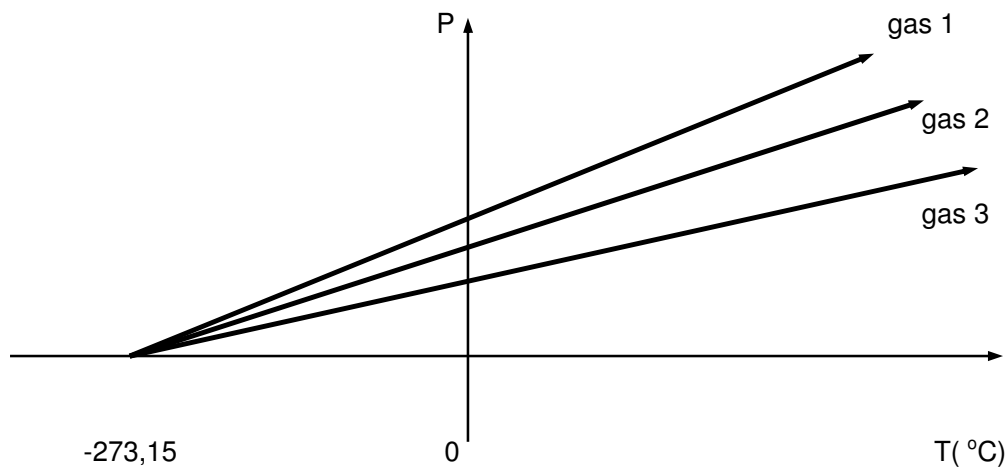
a dan b merupakan suatu konstanta. Konstanta ini dapat ditentukan dengan menggunakan dua titik tertentu. Untuk mengkalibrasi sebuah termometer gas volume konstan, dilakukan eksperimen dengan cara mengukur tekanan gas pada dua temperatur (atau lebih), misalnya pada suhu 0°C dan 100°C, membuat plotnya pada kertas grafik, dan menggambarkan garis lurus di antara dua titik. Selanjutnya dapat dibaca temperatur yang berkaitan dengan tekanan tertentu.

Dengan melakukan ekstrapolasi pada grafik, ditemukan bahwa ada satu temperatur hipotesis, yaitu -273,15°C, dimana tekanan mutlak gas menjadi nol. Hal ini berlaku untuk kebanyakan jenis gas.

Berdasarkan eksperimen tersebut diperoleh bahwa untuk kebanyakan atau bahkan bisa dikatakan semua jenis gas, mempunyai nilai b yang sama, yaitu pada tekanan nol mempunyai temperatur yang sama, sebesar -273,15 °C.

Akhirnya, dapat dikembangkan sebuah termometer yang kemudian dikenal sebagai termometer skala kelvin. Dengan termometer ini, titik beku air bernilai 273,15 K, sedangkan titik didih air 373 K. Dengan demikian:

$$T_{\text{Kelvin}} = T_{\text{C}} + 273,15.$$



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Perubahan Suhu Gas Pada Volume Konstan Terhadap Nilai Tekanan

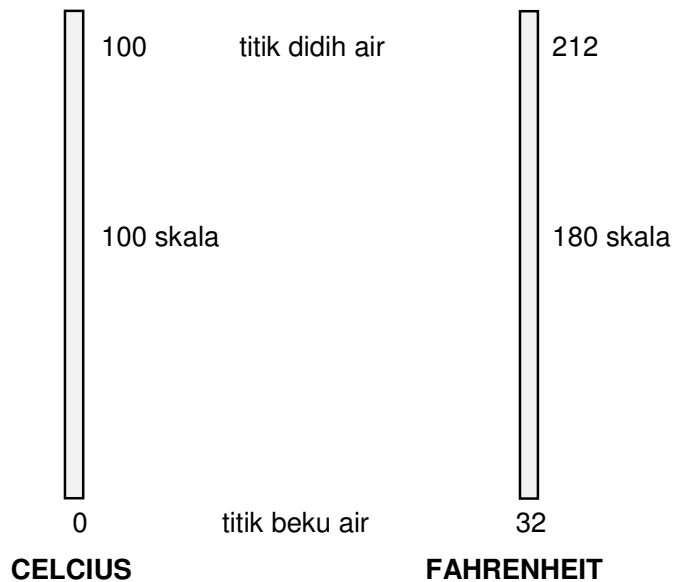
Termometer dengan skala kelvin diterima sebagai instrumen pengukur temperatur yang paling dasar, karena mampu mengukur temperatur absolut. Artinya, melalui termometer ini telah terdefinisi nilai natural temperatur nol, yaitu pada suatu gas yang bertekanan nol, akan terbaca temperatur sebesar nol juga.

2. Skala Temperatur Celcius dan Fahrenheit

Pergeseran skala Celcius dengan temperatur absolut kelvin T sebesar 273,15, maka:

$$T_C = T_{\text{kelvin}} - 273,15 \dots\dots\dots 4$$

Oleh karena itu titik beku air (273,15 K) berhubungan dengan 0,0° C dan titik didih air (373,15 K) berhubungan dengan 100,0° C



Hubungan antara skala celcius dan skala Fahrenheit :

$$T_F = 9/5 T_C + 32 \dots\dots\dots 5$$

C. PEMUAIAN ZAT PADAT

Zat padat secara mikroskopis dapat dipandang sebagai model atom-atom yang dihubungkan dengan pegas. Pegas-pegas tersebut bergetar dengan amplitudo (berkaitan dengan jarak antar atom) tertentu. Bila temperaturnya dinaikkan maka amplitudonya juga berubah, akibatnya jarak antar atom juga berubah. Sehingga secara keseluruhan dimensi dari zat padat tersebut berubah.

Pada benda satu dimensi, perubahannya tampak pada pertambahan panjang benda. Untuk memperoleh nilai panjang suatu benda setelah dipanaskan, digunakan persamaan berikut:

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta T) \dots\dots\dots 6$$

Dimana:

- Lo : panjang mula-mula
- α : koefisien muai panjang ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- ΔT : perubahan temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Berikut disajikan Koefisien muai panjang (α) dari beberapa zat padat :

Bahan	$\alpha \text{ (} \times 10^{-6} / \text{C}^{\circ}\text{)}$	Bahan	$\alpha \text{ (} \times 10^{-6} / \text{C}^{\circ}\text{)}$
Aluminium	23	Kuningan	19
Tembaga	17	Timbal	29
Gelas (biasa)	9	Gelas (pirex)	3,2
Baja	11	Invar (Ni-Fe alloy)	0,9

Pada benda dua dimensi, perubahannya tampak pada pertambahan luas benda. Untuk memperoleh nilai luas suatu benda setelah dipanaskan, digunakan persamaan berikut:

$$A = A_0 (1 + \beta \Delta T), \dots\dots\dots 7$$

Dimana:

- A : Luas setelah perubahan suhu ΔT
- A_0 : Luas mula-mula
- β : Koefisien muai luas

Pada benda tiga dimensi, perubahannya tampak pada pertambahan volume benda. Untuk memperoleh nilai volume suatu benda setelah dipanaskan, digunakan persamaan berikut:

$$V = V_0(1 + \gamma \Delta T), \dots\dots\dots 8$$

- V : Volume setelah perubahan suhu ΔT
- V_0 : Volume mula-mula
- γ : Koefisien muai volume