

Fisika Dasar I (FI-321)

Topik hari ini (minggu 15)

Kalor

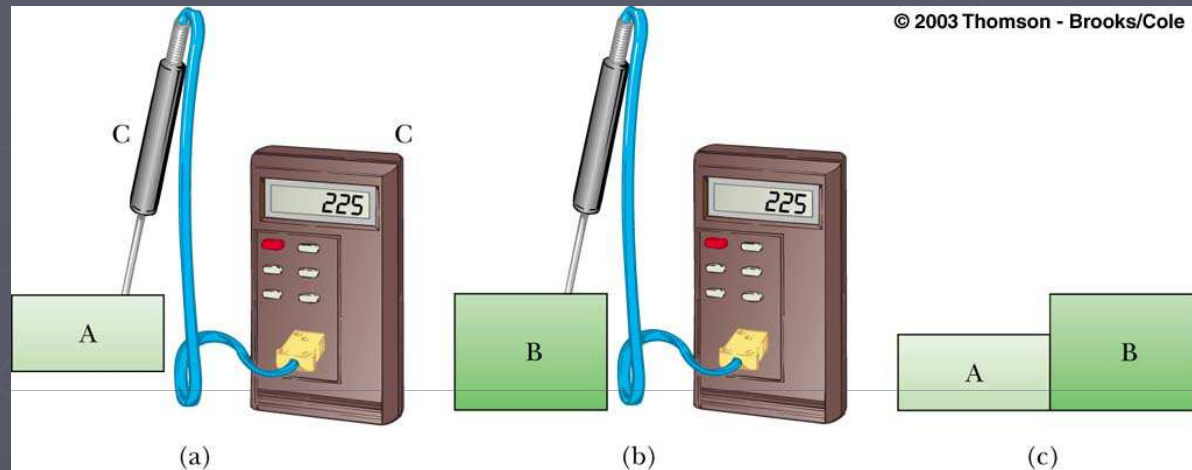
- Temperatur
- Pemuaian Termal
- Gas ideal
- Kalor dan Energi Internal
- Kalor Jenis
- Transfer Kalor



The background is a dark gray topographic map with white contour lines. In the bottom-left corner, there is a faint compass rose with a needle pointing towards the top-left. The needle is dark gray, and the compass face has white markings for cardinal and intercardinal directions (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) and a dollar sign (\$) near the bottom-left. The word "Kalor" is centered in a light blue rectangular box.

Kalor

Hukum Ke Nol Termodinamika



Jika benda A dan B secara terpisah berada dalam kesetimbangan termal dengan benda ketiga C, maka A dan B dalam kesetimbangan termal satu sama lain

Memungkinkan untuk memperkenalkan konsep temperatur

Skala Temperatur

- ▶ Termometer dapat di kalibrasi dengan menempatkannya dalam kontak termal dengan suhu lingkungan yang dijaga konstan.
 - Lingkungan bisa berupa campuran es dan air dalam kesetimbangan termal
 - Juga bisa digunakan air dan uap dalam kesetimbangan termal

Skala Celsius

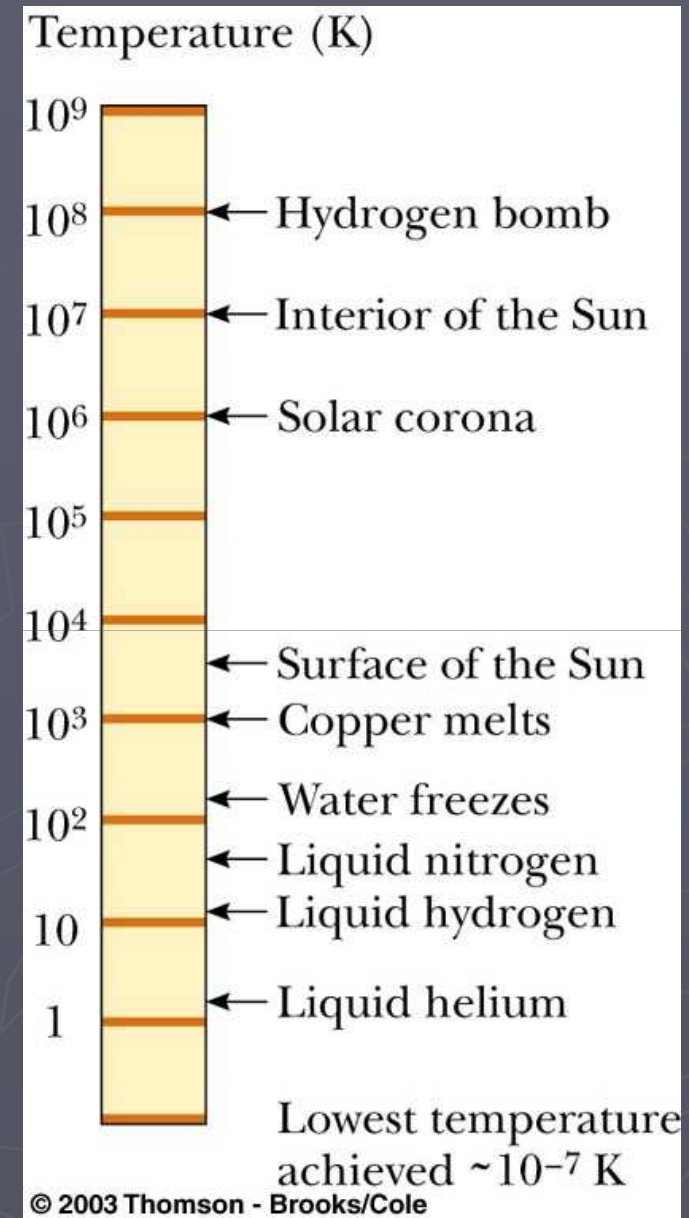
- ▶ Suhu dari campuran es dan air ditetapkan pada 0°C
 - Nilai ini adalah titik beku air
- ▶ Suhu campuran air dan uap ditetapkan pada 100°C
 - Nilai ini adalah titik didih air
- ▶ Selang antara titik-titik ini dibagi menjadi 100 bagian

Skala Kelvin

- ▶ Ketika tekanan gas menuju nol, suhunya adalah -273.15°C
- ▶ Suhu ini disebut *nol mutlak*
- ▶ Titik ini merupakan titik nol dari skala Kelvin
 - $-273.15^{\circ}\text{C} = 0\text{ K}$
- ▶ Untuk mengubah: $T_{\text{C}} = T_{\text{K}} - 273.15$

Beberapa Suhu Kelvin

- ▶ Beberapa mewakili suhu Kelvin
- ▶ Catatan, skala ini logaritmik
- ▶ Nol mutlak tidak pernah tercapai

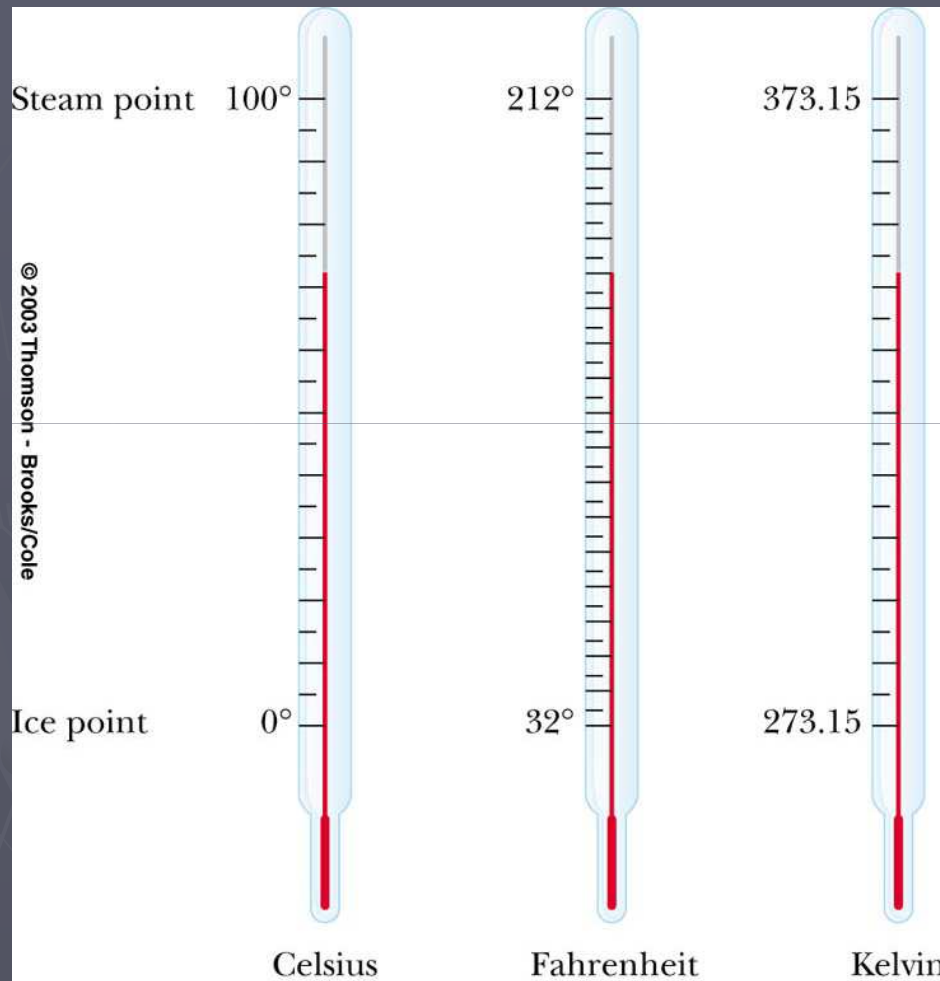


Skala Fahrenheit

- ▶ Skala yang banyak digunakan dalam USA
- ▶ Suhu titik beku adalah 32°
- ▶ Suhu titik didih adalah 212°
- ▶ Titiknya dibagi menjadi 180 bagian



Perbandingan Skala Suhu



$$T_C = T_K - 273.15$$

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

$$\Delta T_F = \frac{9}{5}\Delta T_C$$

Pemuaian Termal

- ▶ Pemuaian termal sebuah benda adalah konsekuensi dari perubahan jarak rata-rata antara atom atau molekul
- ▶ Pada suhu kamar, molekul bervibrasi dengan amplitudo yang kecil
- ▶ Dengan pertambahan suhu, amplitudo pun bertambah
 - Hal ini menyebabkan seluruh bagian benda memuai

Pemuaian Linier (Luas, Volume)

- Untuk perubahan suhu yang kecil

$$\Delta L = \alpha L_o \Delta t$$

- Koefisien pemuaian linier, α , bergantung pada bahan
- Dalam dua dimensi (luas pemuaian)

$$\Delta A = \gamma A_o \Delta t, \quad \gamma = 2\alpha$$

- dan dalam tiga dimensi (volume pemuaian)

$$\Delta V = \beta V_o \Delta t \text{ untuk zat padat, } \beta = 3\alpha$$

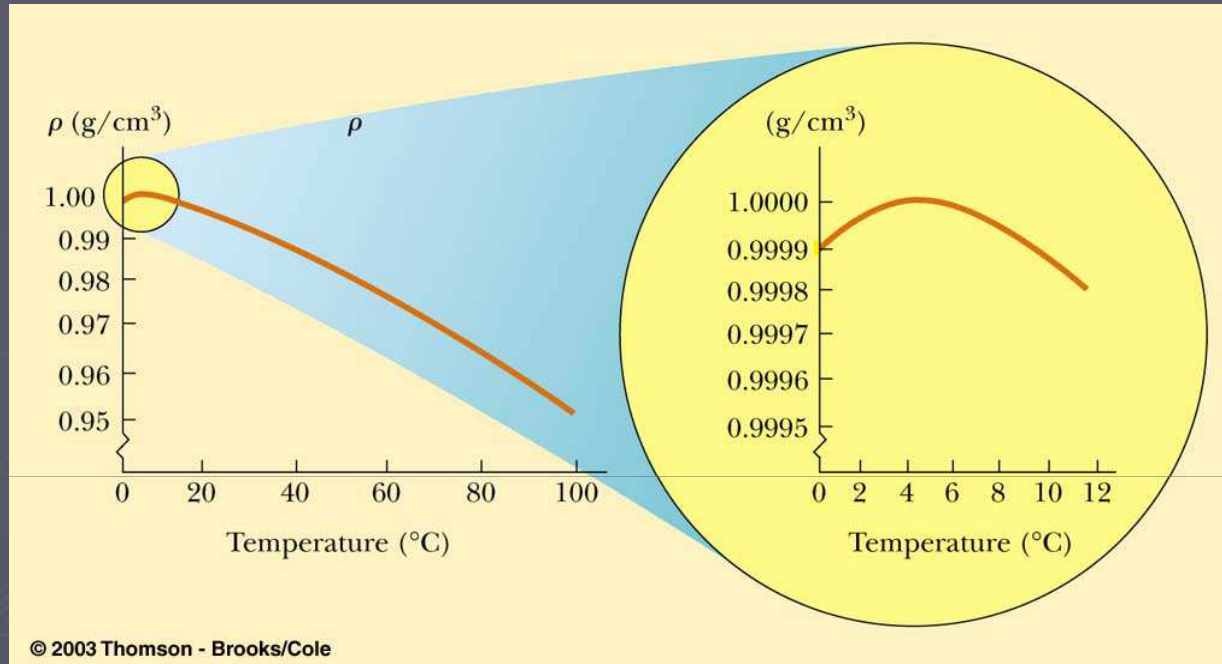
Contoh

Sebuah kabel telepon yang terbuat dari tembaga memiliki panjang 35.0 m pada musim dingin ketika temperaturnya -20.0°C . Berapa pertambahan panjangnya ketika berada dalam musim panas yang temperaturnya 35.0°C ? Asumsikan koefisien muai panjang konstan.

The increase in temperature is $\Delta T = T_f - T_i = 35.0^{\circ}\text{C} - (-20.0^{\circ}\text{C}) = 55.0^{\circ}\text{C}$.

$$\text{Thus, } \Delta L = \alpha L_i (\Delta T) = [17 \times 10^{-6} \text{ } (^{\circ}\text{C})^{-1}] (35.0 \text{ m}) (55.0^{\circ}\text{C}) = 3.27 \times 10^{-2} \text{ m} = \boxed{3.27 \text{ cm}}$$

Anomali Air



- ▶ Pada saat suhu air meningkat dari 0 $^\circ\text{C}$ sampai 4 $^\circ\text{C}$, air menyusut dan kerapatannya bertambah
- ▶ Diatas 4 $^\circ\text{C}$, air menunjukkan pemuaian yang sesuai dengan peningkatan suhu
- ▶ Kerapatan maksimum dari air adalah 1000 kg/m^3 pada 4 $^\circ\text{C}$

Gas Ideal

► Sifat dari Gas

- Gas tidak memiliki volume atau tekanan yang tetap
- Dalam sebuah wadah, gas akan mengisi ke seluruh ruang

► Gas Ideal:

- Kumpulan atom atau molekul yang bergerak secara acak
- Molekul-molekul tidak mengalami interaksi pada jarak yang cukup jauh
- Molekul-molekul tersebar merata dalam wadah

► Banyak gas dalam suhu dan tekanan ruang berperilaku seperti gas ideal

Mol

- Perlu untuk menyatakan jumlah gas dalam volume tertentu dalam mol, n

$$n = \frac{\text{massa}}{\text{massa molar}}$$

- Satu mol adalah jumlah zat yang memuat partikel sebanyak jumlah partikel yang terdapat dalam 12 gram Carbon-12

Hipotesis Avogadro

► Volume yang sama dari gas pada suhu dan tekanan yang sama memiliki jumlah molekul yang sama

- Akibatnya: Pada suhu dan tekanan standar, satu mol gas memiliki jumlah molekul yang sama
- Jumlah ini disebut N_A
- Dapat juga dilihat dari jumlah total partikel:
$$N = n N_A$$

Bilangan Avogadro

- ▶ Jumlah partikel dalam satu mol disebut **Bilangan Avogadro**
 - $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ partikel / mol
- ▶ Massa dari setiap atom bisa dihitung:

$$m_{\text{atom}} = \frac{\text{massa molar}}{N_A}$$

Persamaan Keadaan Gas Ideal

► Hukum Boyle

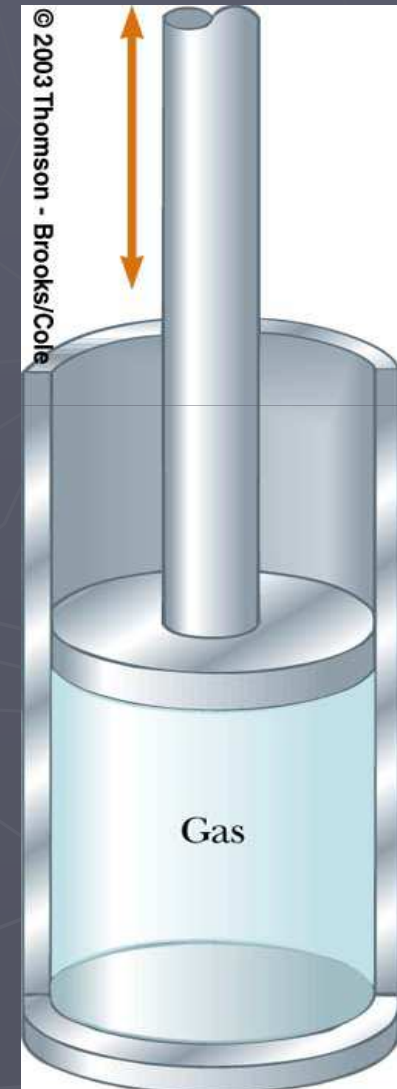
- Pada **suhu konstan**, tekanan berbanding terbalik dengan volume

► Hukum Charles

- Pada **tekanan konstan**, suhu berbanding lurus dengan volume

► Hukum Gay-Lussac

- Pada **volume konstan**, tekanan berbanding lurus dengan suhu



Hukum Gas Ideal

► Ringkasan Hukum Boyle, Hukum Charles, dan Hukum Guy-Lussac

► $PV = nRT$

- R adalah *konstanta gas umum*
- $R = 8.31 \text{ J / mol K}$
- $R = 0.0821 \text{ L atm / mol K}$

► $PV = Nk_B T$

- k_B adalah *konstanta Boltzmann*
- $k_B = R / N_A = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/ K}$

Pertanyaan

Sebuah gas ideal berada dalam sebuah wadah dengan volume konstan. Jumlah molnya konstan. Berapa kalikah tekanan akan berubah jika suhu mutlaknya menjadi tiga kali semula?

- a. $1/9$
- b. $1/3$
- c. 3.0
- d. 9.0

Jawab c

Pertanyaan

Sebuah gas ideal menempati sebuah wadah yang volume dapat berubah. Jumlah mol dan temperatur konstan. Berapa kalikah volume akan berubah jika tekananya menjadi tiga kali semula?

- a. $1/9$
- b. $1/3$
- c. 3.0
- d. 9.0

Jawab b

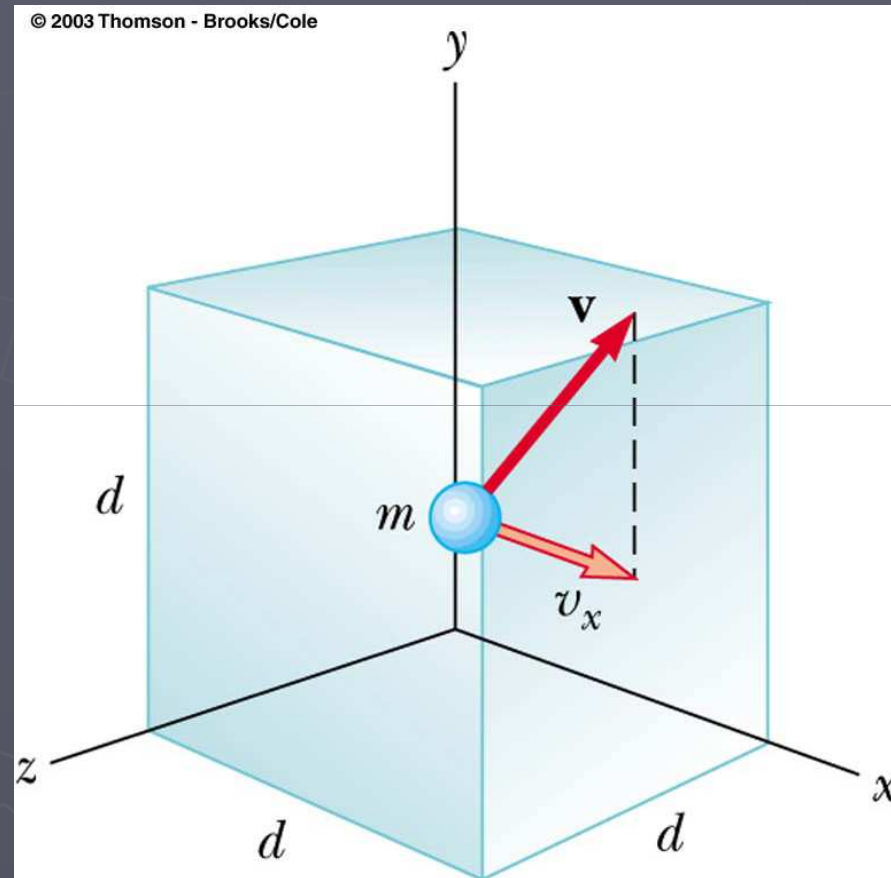
Teori Kinetik Gas -- Asumsi

- ▶ Jumlah molekul dalam gas **sangat banyak**
- ▶ Jarak rata-rata antar molekul **lebih besar** dibandingkan ukuran molekul
- ▶ Gerak molekul memenuhi **hukum Newton**, tetapi semuanya bergerak **acak**
- ▶ **Interaksi molekul hanya terjadi** selama tumbukan elastik
- ▶ Molekul mengalami tumbukan **elastik** dengan dinding
- ▶ Semua molekulnya **identik**

Tekanan dari Gas Ideal

- Tekanan sebanding dengan **jumlah molekul per satuan volume** dan **energi kinetik translasi rata-rata** dari tiap molekul

$$P = \frac{3}{2} \left(\frac{N}{V} \right) \left(\frac{1}{2} m v^2 \right)$$



Interpretasi Molekular dari Suhu

- **Suhu** sebanding dengan energi kinetik rata-rata dari molekul

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T$$

- Total energi kinetik sebanding dengan temperatur mutlak

$$EK_{total} = \frac{3}{2}nRT$$

Energi Internal

- ▶ Dalam gas monoatomik, EK adalah satu jenis energi yang hanya dimiliki oleh molekul yang mempunyai energi

$$U = \frac{3}{2}nRT$$

- ▶ U adalah *energi internal* dari gas
- ▶ Dalam gas poliatomik, ada tambahan energi jenis lain sebagai kontribusi pada energi internal, yaitu energi rotasi dan energi vibrasi dari molekul

Kecepatan dari Molekul

- Dinyatakan sebagai laju *root-mean-square* (rms)

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3 R T}{M}}$$

- Pada suhu tertentu, molekul yang lebih ringan bergerak lebih cepat dari pada molekul yang lebih berat

Energi dalam Proses Termal



Energi Internal vs. Kalor

- ▶ *Energi internal*, U , adalah energi yang diasosiasikan dengan komponen mikroskopik dari sistem
 - Termasuk energi kinetik dan potensial diasosiasikan dengan gerak translasi, rotasi dan vibrasi acak dari atom atau molekul
 - Juga termasuk energi potensial interaksi antar molekul
- ▶ **Kalor** adalah energi yang ditransfer antara sistem dan lingkungan karena perbedaan suhu antara keduanya
 - Simbol kalor adalah Q

Satuan dari Kalor

Satuan	
SI	Joule (J)
CGS	Kalori (kal)
USA & UK	BTU (btu)

► Kalori

- Sebuah satuan historis, sebelum hubungan antara termodinamika dan mekanika dikenal
- Satu *kalori* adalah jumlah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 gram air dari 14.5° C menjadi 15.5° C .
 - Satu Kalori (kalori makanan) adalah 1000 kal

► Joule

- $1 \text{ kal} = 4,186 \text{ J}$
- Ini dinamakan *Kalor Ekuivalen Mekanik*

► BTU (US Customary Unit)

- BTU singkatan dari British Thermal Unit
- Satu *BTU* adalah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 pon (lb) air dari 63° F menjadi 64° F
- $1 \text{ BTU} = 252 \text{ kal} = 1,054 \text{ kJ}$

Kalor Jenis

- Setiap zat memerlukan **sejumlah** energi per satuan massa yang berbeda untuk mengubah suhunya sebesar 1°C
 - Berbanding lurus dengan massa (jadi, per satuan massa)
- *Kalor Jenis, c* , dari suatu zat adalah ukuran dari **jumlah** ini

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Satuan	
SI	Joule/kg $^{\circ}\text{C}$ (J/kg $^{\circ}\text{C}$)
CGS	Kalori/g $^{\circ}\text{C}$ (kal/g $^{\circ}\text{C}$)

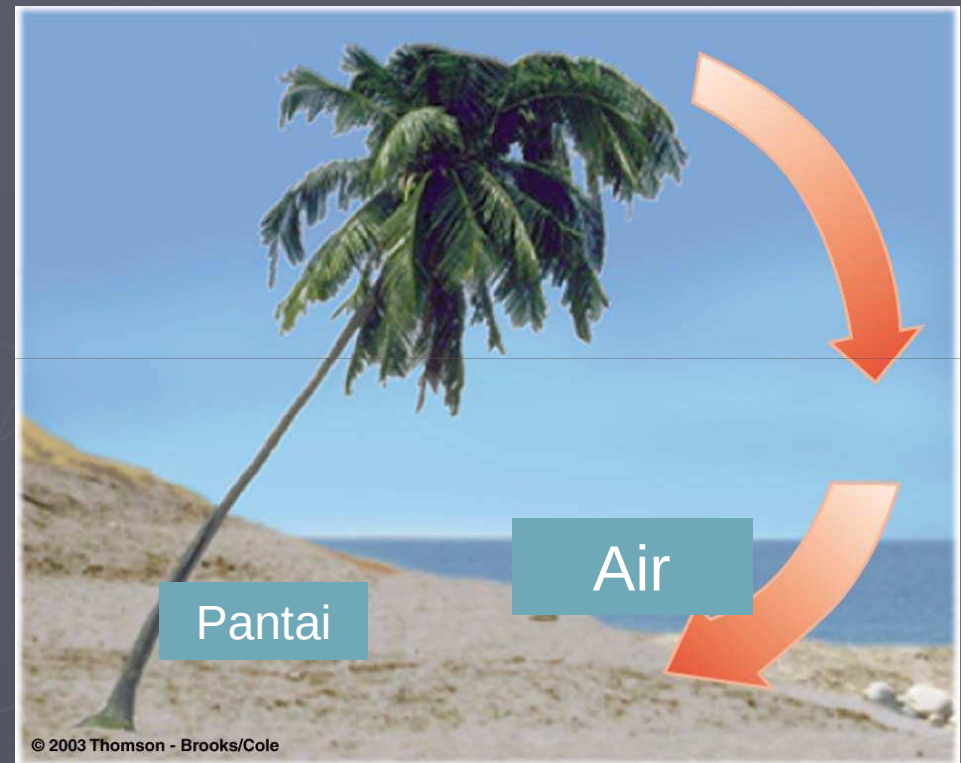
Catatan: Kalor dan Kalor Jenis

► $Q = m c \Delta T$

- ΔT adalah suhu akhir dikurangi suhu awal
- Ketika suhu naik, ΔT dan ΔQ adalah positif maka energi masuk ke sistem
- Ketika suhu turun, ΔT dan ΔQ adalah negatif maka energi keluar sistem

Konsekuensi dari Perbedaan Kalor Jenis

- ▶ Air memiliki kalor jenis yang lebih tinggi dibandingkan daratan
- ▶ Pada hari yang panas, udara di atas daratan panas lebih cepat
- ▶ Udara panas mengalir ke atas dan udara yang dingin bergerak menuju pantai



Apa yang terjadi pada malam hari?

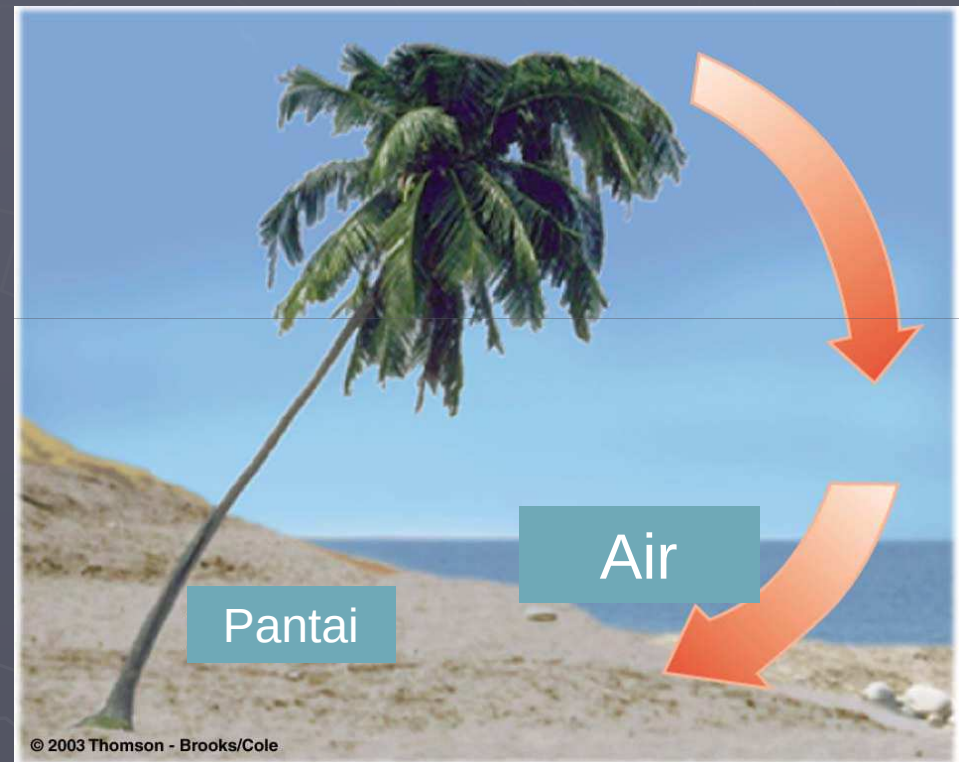
$$c_{Si} = 700 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$c_{H_2O} = 4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

Pertanyaan

Apa yang terjadi pada malam hari?

- a. sama
- b. kebalikan
- c. bukan keduanya



Bagaimana menentukan kalor jenis?

Kalorimeter

- ▶ Cara untuk menentukan kalor jenis suatu zat dinamakan **Kalorimetri**
- ▶ *Kalorimeter* adalah sebuah wadah yang terbuat dari bahan isolator yang baik yang memungkinkan kesetimbangan termal terjadi antara zat tanpa adanya energi yang hilang ke lingkungan

Kalorimetri

- ▶ Analisis yang dilakukan dengan menggunakan kalorimeter
- ▶ Kekekalan energi diaplikasikan pada sistem tertutup
- ▶ Energi yang keluar dari zat yang lebih panas sama dengan energi yang diserap oleh air

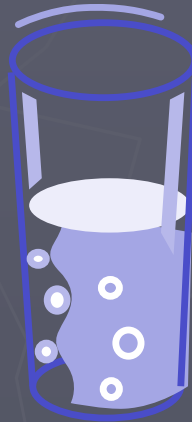
$$Q_{\text{panas}} = -Q_{\text{dingin}}$$

Transisi Fasa

ES



AIR



UAP

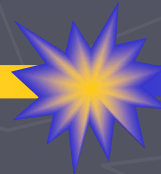


Tambah
panas



Tambah
panas

Tiga jenis keadaan materi (plasma adalah jenis yang lain)



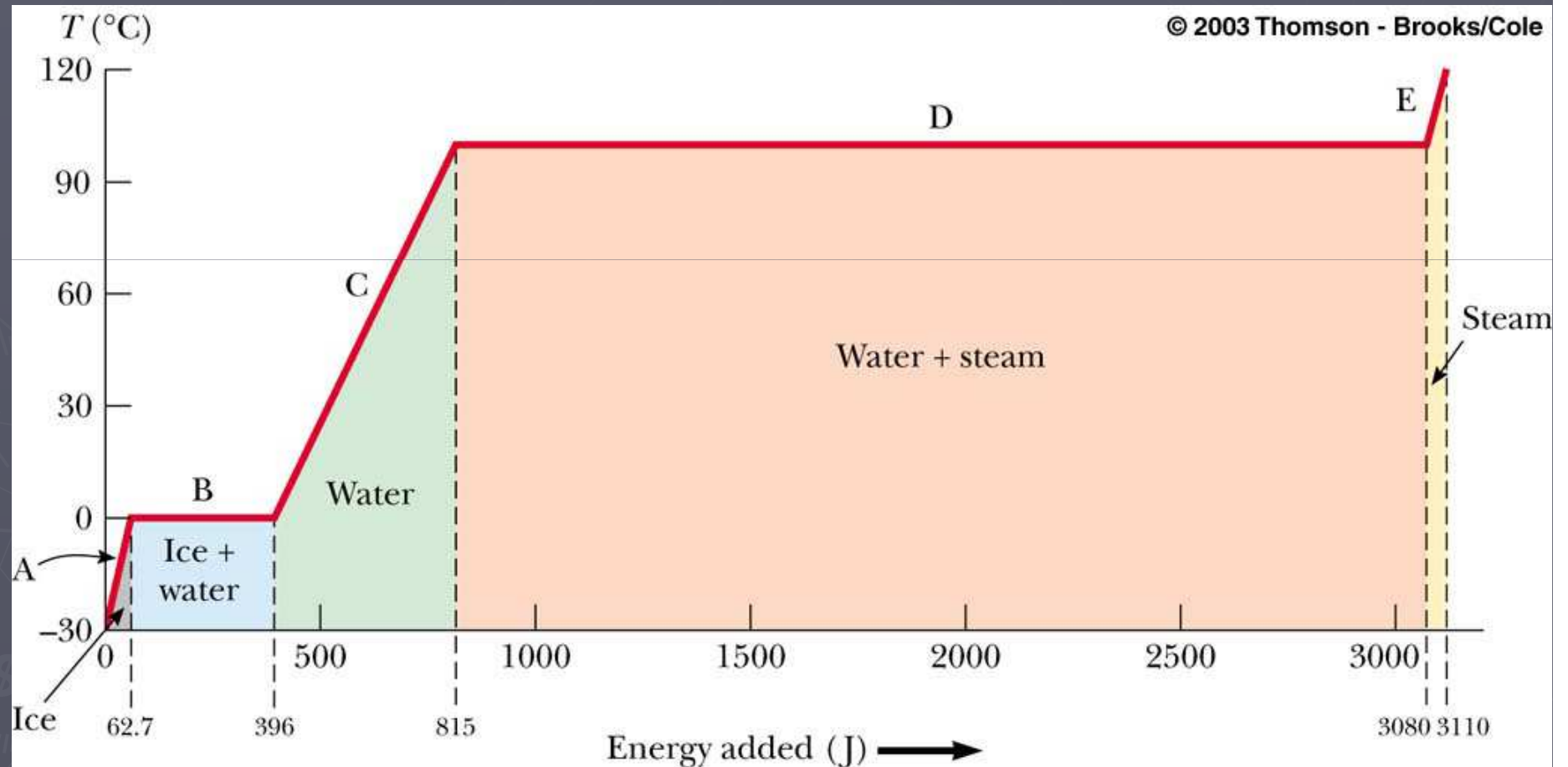
Perubahan Fasa

- ▶ Perubahan fasa terjadi ketika sifat fisis dari zat berubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain
- ▶ Perubahan fasa diantaranya:
 - Padat ke cair – mencair
 - Cair ke gas – menguap
- ▶ Perubahan fasa termasuk **perubahan energi internal**, **tapi suhu tidak berubah**

Kalor Laten

- ▶ Selama perubahan fasa, jumlah kalor yang dilepaskan adalah
 - $Q = m L$
- ▶ L adalah *kalor laten* dari zat
 - Laten artinya tersembunyi
- ▶ Pilih tanda positif jika menambahkan energi pada sistem dan tanda negatif jika energi dipindahkan dari sistem
- ▶ *Kalor laten peleburan* digunakan untuk pencairan atau pembekuan
- ▶ *Kalor laten penguapan* digunakan untuk penguapan atau pengembunan

Grafik Perubahan dari Es menjadi Uap



Metode Transfer Kalor

- ▶ Diperlukan untuk mengetahui laju energi yang ditransfer
- ▶ Diperlukan untuk mengetahui mekanisme yang bertanggungjawab pada proses transfer
- ▶ Metodenya meliputi
 - Konduksi
 - Konveksi
 - Radiasi

1. Konduksi

- ▶ Proses transfer dapat ditinjau pada skala atom
 - Pertukaran energi antara partikel-partikel mikroskopik akibat tumbukan
 - Partikel yang energinya lebih rendah memperoleh tambahan energi selama proses tumbukan dari partikel yang energinya lebih besar
- ▶ Laju konduksi bergantung pada sifat zat

Contoh konduksi

- ▶ Vibrasi molekul disekitar posisi kesetimbangan
- ▶ Partikel yang lebih dekat dengan api bervibrasi dengan amplitudo yang lebih besar
- ▶ Menumbuk partikel tetangga dan mentransfer energi
- ▶ Akhirnya, energi menjalar ke seluruh batang



Konduksi dapat terjadi hanya jika terdapat perbedaan suhu antara dua bagian dari medium pengkonduksi

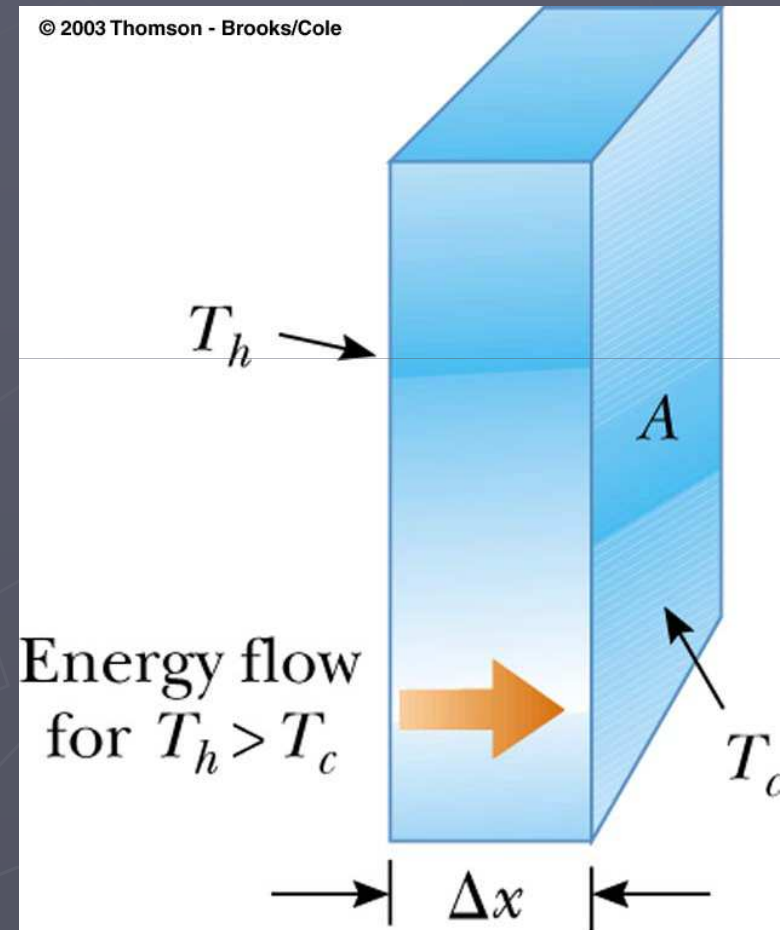
Konduksi (lanjutan)

- Pada lempengan memungkinkan energi mengalir dari daerah bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah

$$P = \frac{Q}{t} = kA \frac{T_h - T_c}{L}$$

Aliran kalor

Konduktivitas termal



Konduksi (lanjutan)

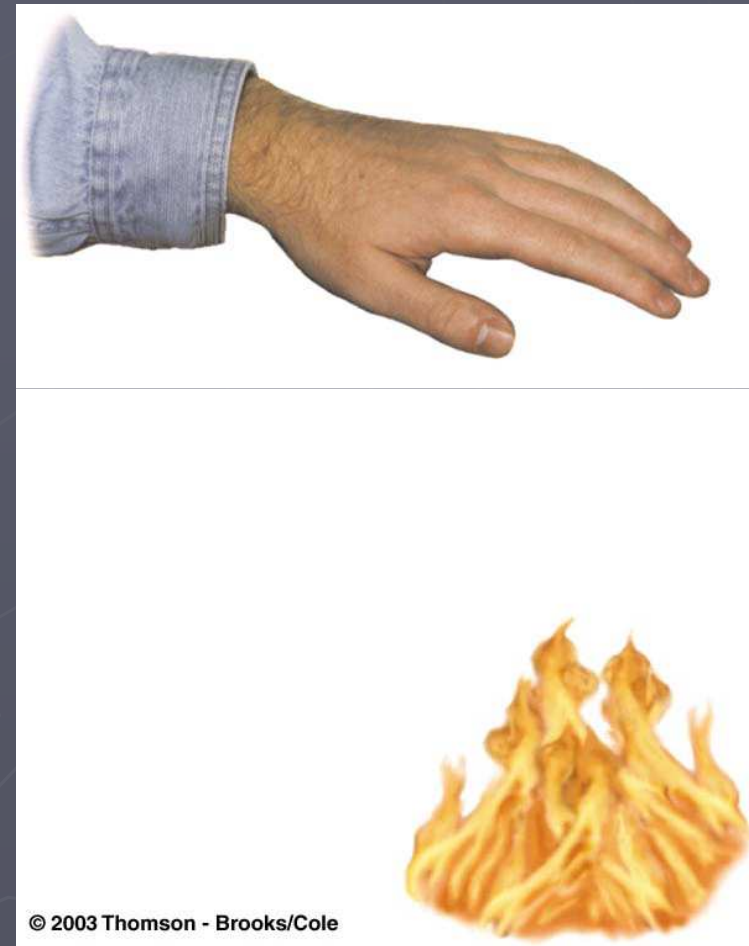
- ▶ A adalah luas penampang
- ▶ $L = \Delta x$ adalah ketebalan lempengan atau panjang batang
- ▶ P dalam Watt, Q dalam Joule dan t dalam sekon
- ▶ k adalah *konduktivitas termal* dari material
 - Konduktor yang baik memiliki nilai k yang tinggi dan isolator yang baik memiliki nilai k yang rendah

2. Konveksi

- ▶ Transfer energi akibat pergerakan dari zat
 - Ketika pergerakan dihasilkan dari perbedaan kerapatan, disebut *konduksi alami*
 - Ketika pergerakan didorong/dipaksa oleh “gaya”, disebut *konveksi terpaksa*

Contoh konveksi

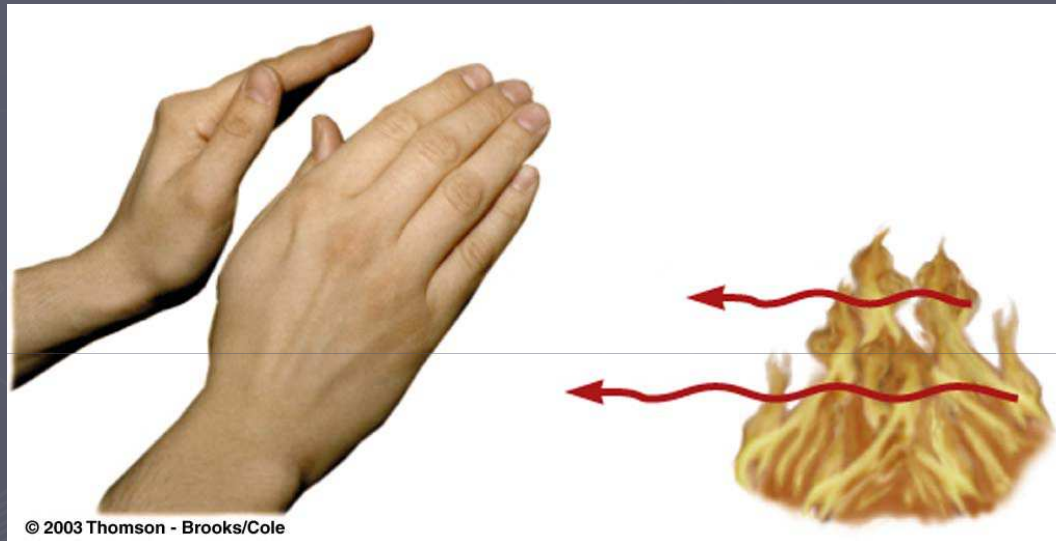
- ▶ Udara di atas api dipanaskan dan mengembang
- ▶ Kerapatan udara menurun
- ▶ Massa dari udara memanasi tangan
- ▶ Aplikasi:
 - Radiator
 - Mesin pendingin mobil



3. Radiasi

- ▶ Radiasi tidak memerlukan kontak fisik
- ▶ Semua benda meradiasikan energi secara kontinu dalam bentuk gelombang elektromagnetik akibat dari vibrasi termal molekul
- ▶ Laju radiasi diberikan oleh *Hukum Stefan*

Contoh Radiasi



- ▶ Gelombang elektromagnetik membawa energi dari api ke tangan
- ▶ Tidak ada kontak fisik yang diperlukan

Persamaan Radiasi

► $P = \sigma A e T^4$

- P laju aliran energi, dalam Watt
- $\sigma = 5.6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$
- A adalah luas permukaan benda
- e adalah konstanta yang disebut *emisivitas*
 - e bervariasi dari 0 ke 1
- T adalah suhu dalam Kelvin

Absorpsi dan Emisi Energi oleh Radiasi

- ▶ Laju radiasi dimana benda bersuhu T dan lingkungannya bersuhu T_0 adalah

- $P_{\text{net}} = \sigma A e (T^4 - T_0^4)$

- Ketika benda berada dalam kesetimbangan dengan lingkungannya, benda meradiasi dan mengabsorpsi energi dengan laju yang sama

- ▶ Temperatur benda tidak akan berubah

Absorper dan Reflektor Ideal

- ▶ *Absorper ideal* didefinisikan sebagai sebuah benda yang mengabsorpsi (menyerap) seluruh energi yang mengenainya
 - $e = 1$
- ▶ Jenis benda seperti ini dinamakan *benda hitam*
 - Absorper ideal juga merupakan radiator energi ideal
- ▶ *Reflektor ideal* tidak mengabsorpsi energi yang mengenainya
 - $e = 0$

Aplikasi dari Radiasi

► Pakaian

- Kain hitam merupakan absorber yang baik
- Kain putih merupakan reflektor yang baik

► Termograpi

- Jumlah energi yang diradiasikan oleh benda dapat diukur menggunakan termograp

► Suhu Badan

- Termometer radiasi mengukur intensitas dari radiasi infra merah dari gendang telinga

Pertanyaan

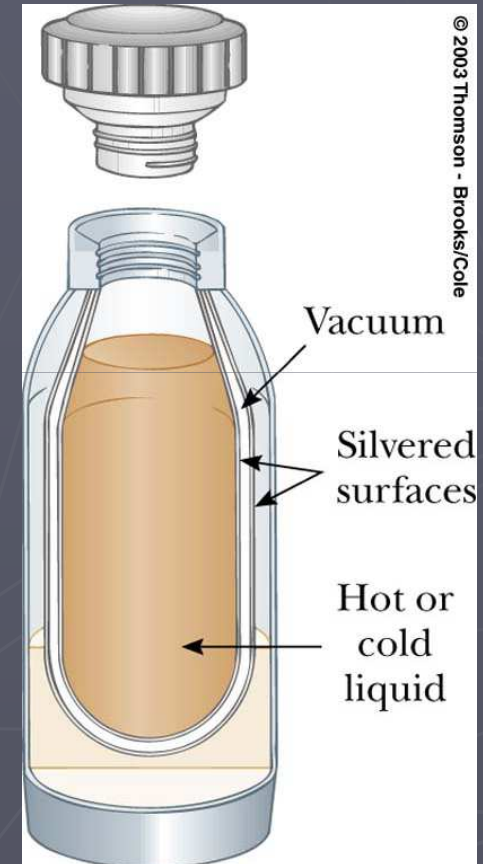
Penggunaan sekat fiberglas di dinding luar sebuah gedung dimaksudkan untuk meminimalisasi transfer kalor yang melalui proses....

- a. konduksi
- b. radiasi
- c. konveksi
- d. penguapan

Jawab a

Penghambat Transfer Energi

- ▶ Termos
- ▶ Didisain untuk meminimalisasi transfer energi
- ▶ Ruang antara dinding-dinding di kosongkan untuk mengurangi konduksi dan konveksi
- ▶ Permukaan perak untuk mengurangi radiasi
- ▶ Ukuran leher termos di reduksi



Pemanasan Global

► Contoh Greenhouse

- Cahaya tampak diabsorpsi dan diemisikan kembali sebagai radiasi infra merah
- Arus konveksi dicegah oleh kaca

► Atmosfer bumi juga merupakan transmitter yang baik bagi cahaya tampak dan absorper yang baik bagi radiasi infra merah