

Fisika Umum (MA-301)

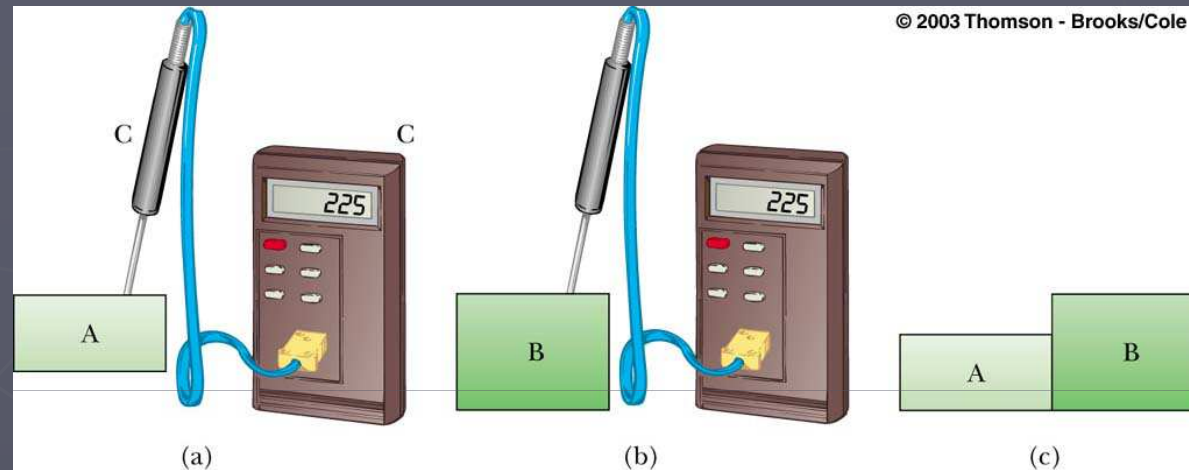
Topik hari ini (minggu 5)

Kalor dan Hukum Termodinamika



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

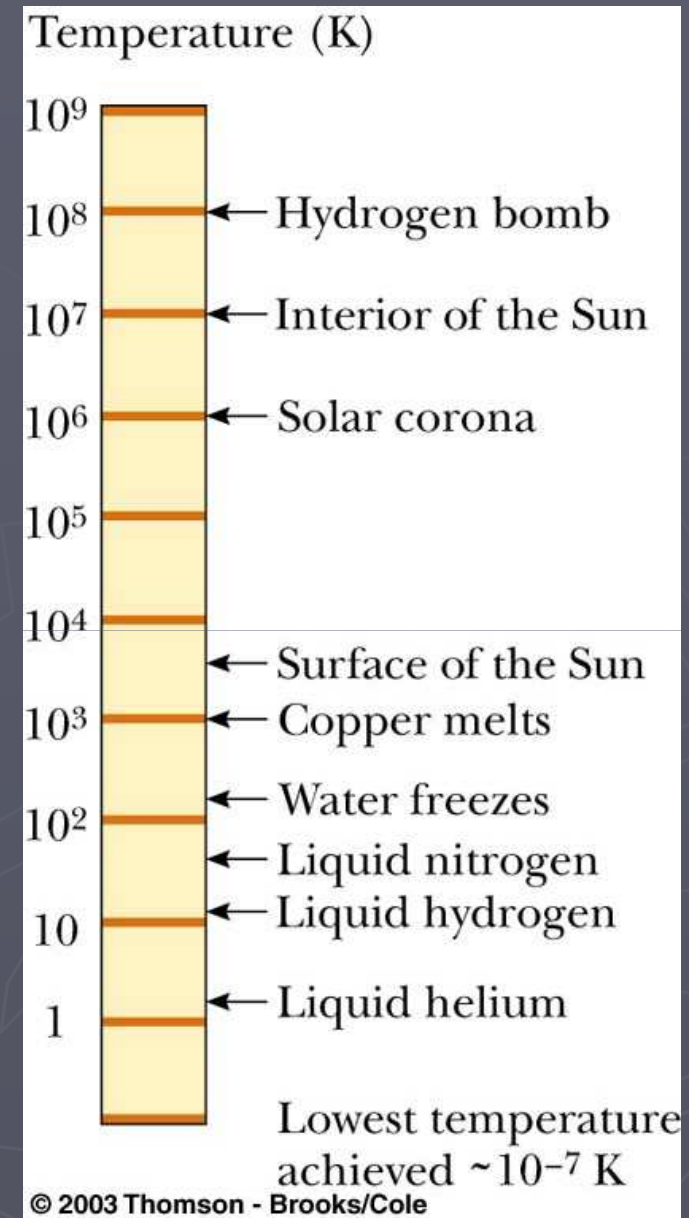
- ▶ Suhu dari campuran es dan air ditetapkan pada 0°C
 - Nilai ini adalah **titik beku** air
- ▶ Suhu campuran air dan uap ditetapkan pada 100°C
 - Nilai ini adalah **titik didih** air
- ▶ Selang antara titik-titik ini dibagi menjadi 100 bagian

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

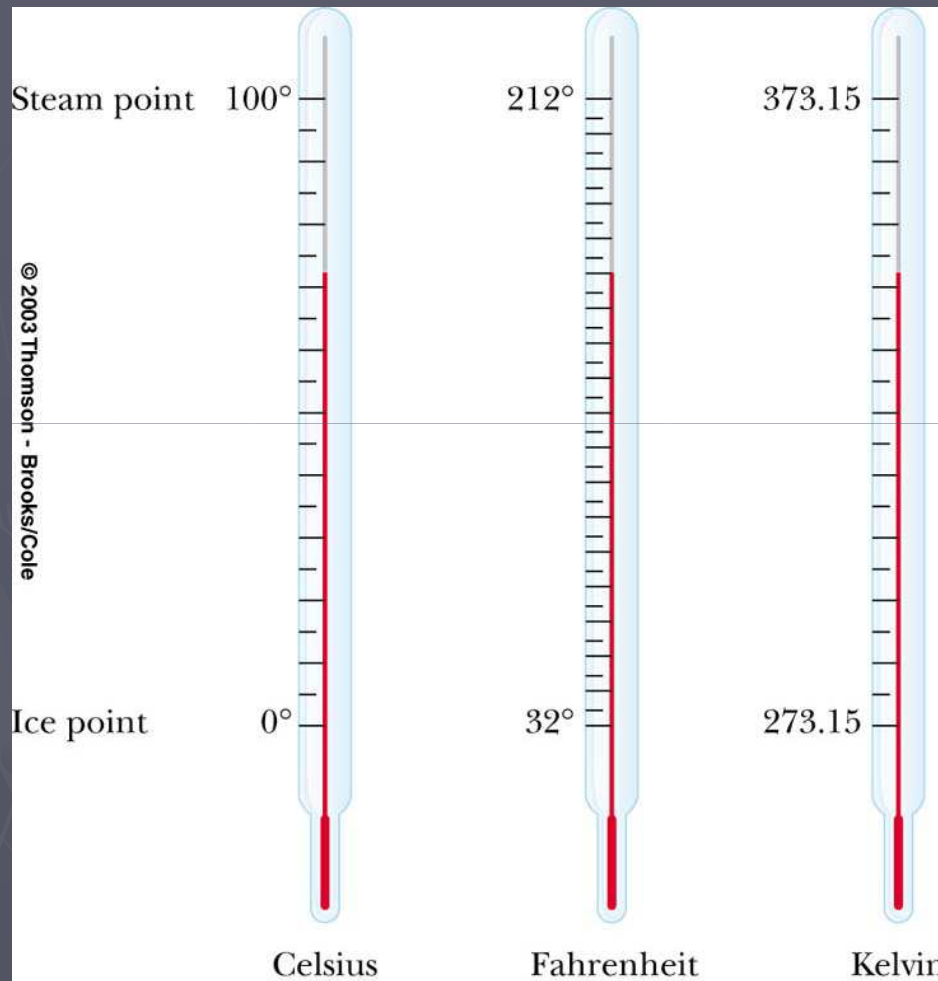
- ▶ Beberapa mewakili suhu Kelvin
- ▶ Catatan, skala ini logaritmik
- ▶ Nol mutlak tidak pernah tercapai



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

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta t$$

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

$$\Delta A = \gamma A_0 \Delta t, \quad \gamma = 2\alpha$$

- ▶ dan dalam tiga dimensi (volume pemuaian)

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta t \text{ untuk zat padat, } \beta = 3\alpha$$

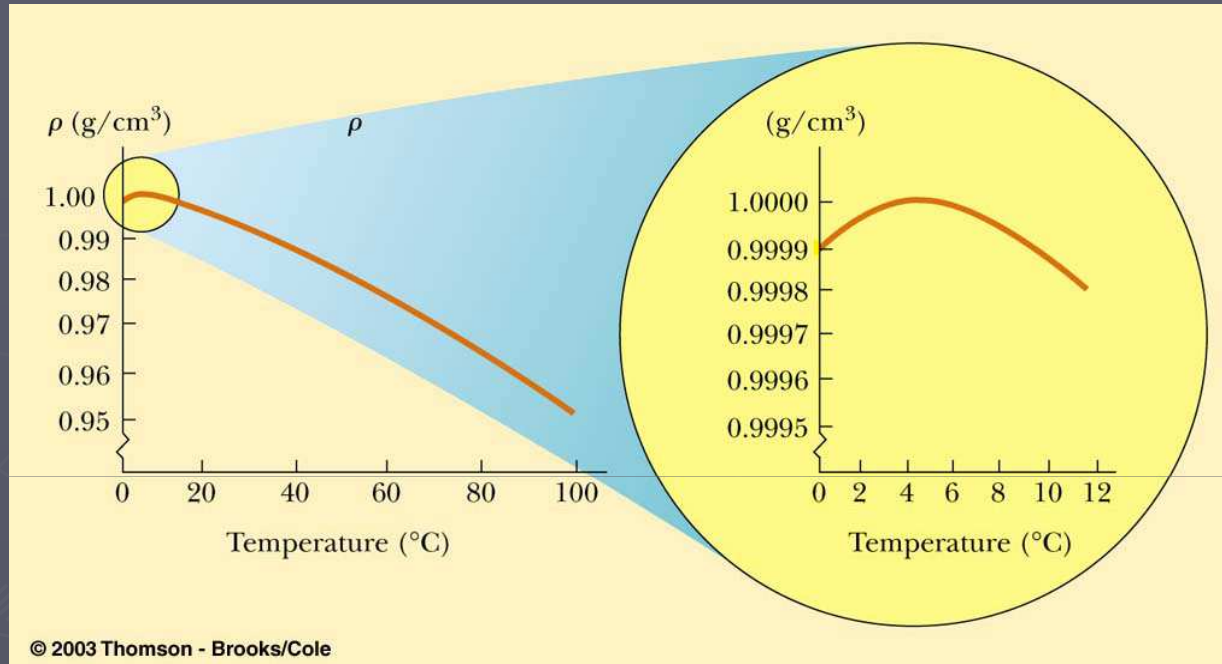
Contoh

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

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

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 $^{\circ}\text{C}$

Pertanyaan

- ▶ Pada musim dingin, permukaan danau membeku, tetapi bagian bawah danau masih berwujud cair, mengapa ini bisa terjadi?, apakah makhluk hidup masih bisa bertahan pada kondisi seperti ini!

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 $^\circ\text{C}$)

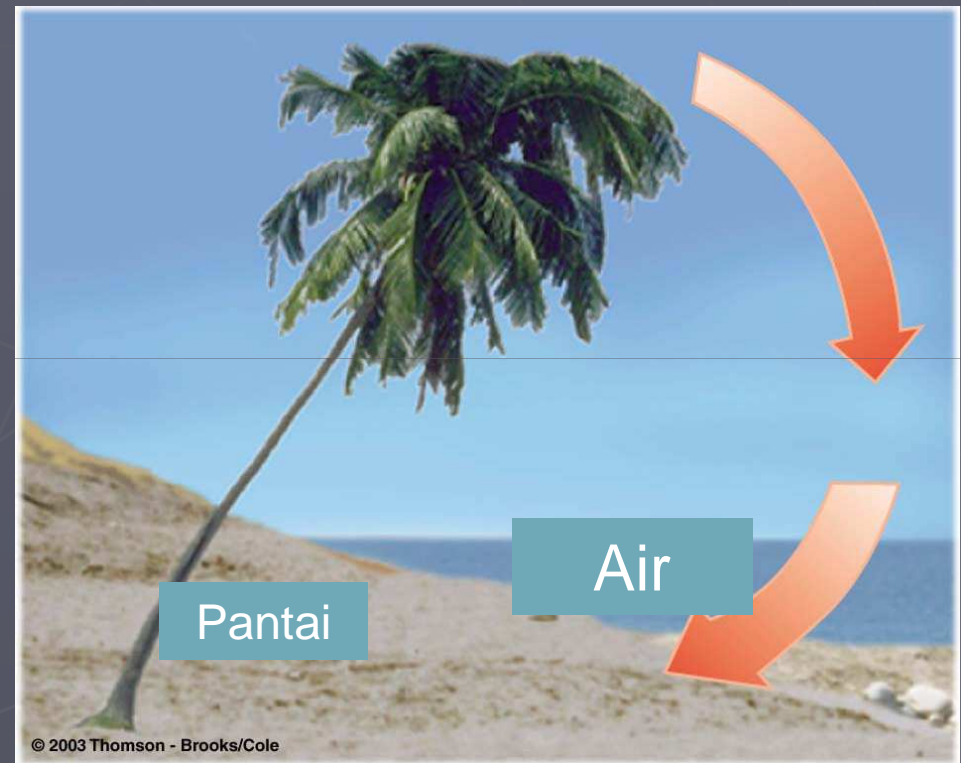
Catatan: Kalor dan Kalor Jenis

► $Q = m c \Delta T$

- 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



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

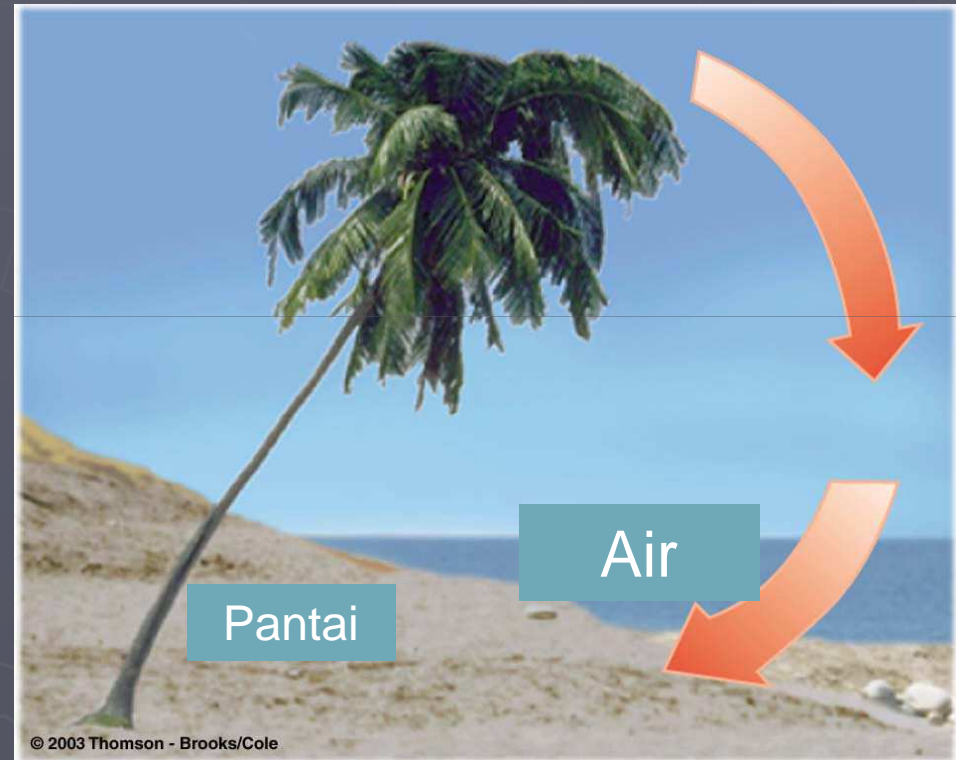
$$c_{H_2O} = 4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

Apa yang terjadi pada malam hari?

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

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

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

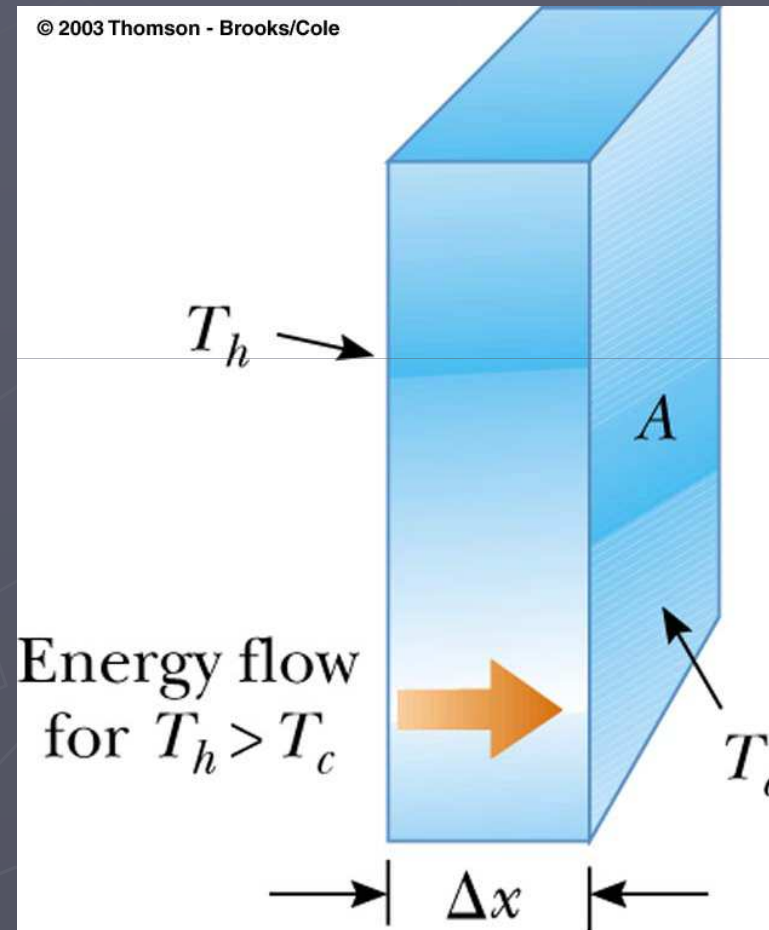
Konduksi (lanjutan)

- ▶ 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 *konveksi alami*
 - Ketika pergerakan didorong/dipaksa oleh "gaya", disebut *konveksi terpaksa*

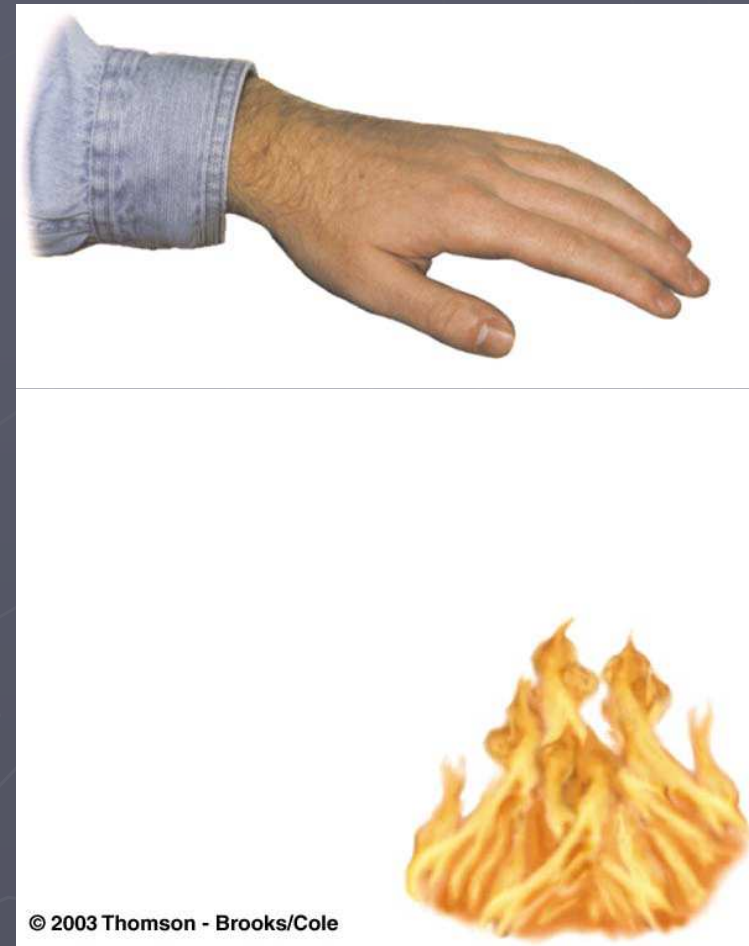
Contoh konveksi

- ▶ Pergerakan molekul-molekul air pada suatu wadah yang dipanaskan



Contoh konveksi

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



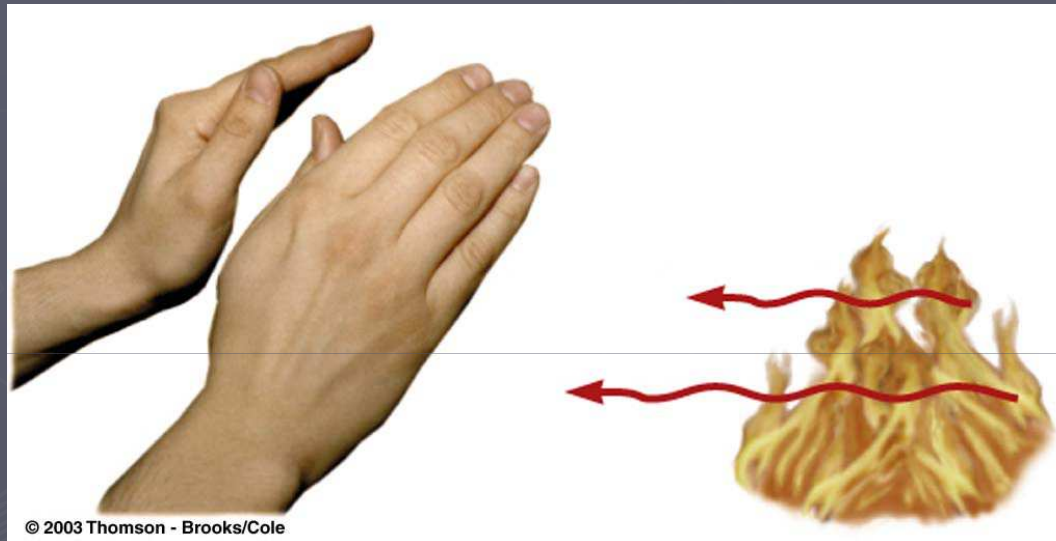
Pertanyaan

- ▶ Mengapa udara yang hangat/panas bergerak naik?
- ▶ Mengapa di puncak gunung terasa dingin?
- ▶ Mengapa udara yang mengembang/memuai, terasa dingin?

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

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

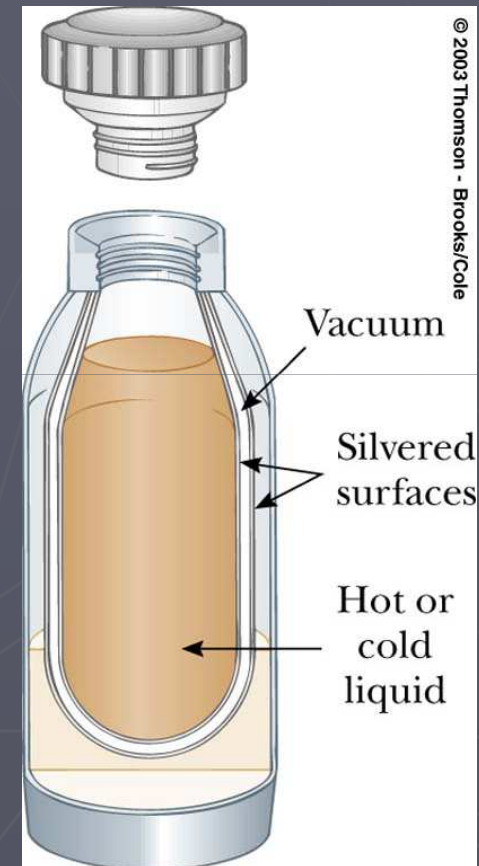
Penggunaan sekat fiberglas di dinding luar sebuah gedung dimaksudkan untuk meminimalisasi transfer kalor yang melalui proses....

- 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

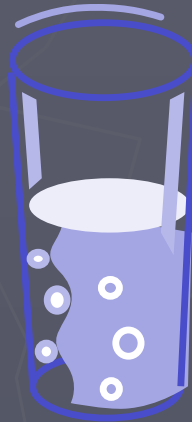
Transisi Fasa

ES



Tambah
panas

AIR

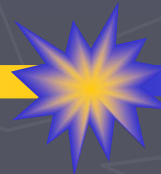


Tambah
panas

UAP



Tiga jenis keadaan materi (plasma adalah jenis yang lain)



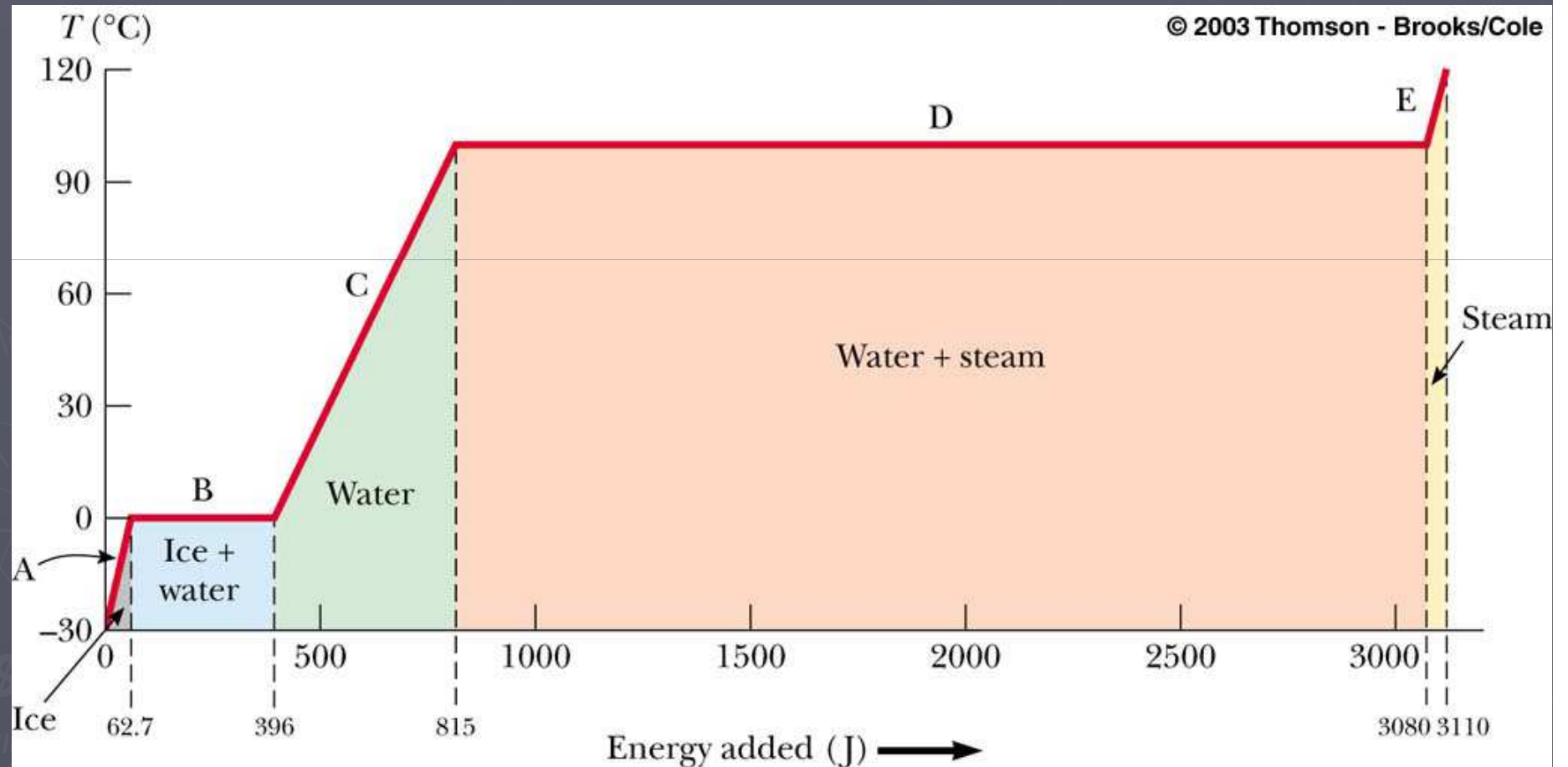
Perubahan Fasa

- ▶ 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



Evaporasi dan Kondensasi

- ▶ **Evaporasi** adalah perubahan keadaan zat dari wujud cair menjadi wujud gas dimana terjadinya pada permukaan zat cair
 - Evaporasi adalah proses pendinginan
- ▶ **Kondensasi** adalah kebalikan dari proses evaporasi, yaitu perubahan keadaan zat dari wujud gas menjadi wujud cair
 - Kondensasi adalah proses pemanasan

Pertanyaan

- ▶ Mengapa ketika akan turun hujan udara terasa panas?
- ▶ Mengapa udara panas banyak mengandung uap air?

Termodinamika



Hukum Pertama Termodinamika

- ▶ Berdasarkan **Konservasi Energi** dalam proses termal, maka:

- **Q**

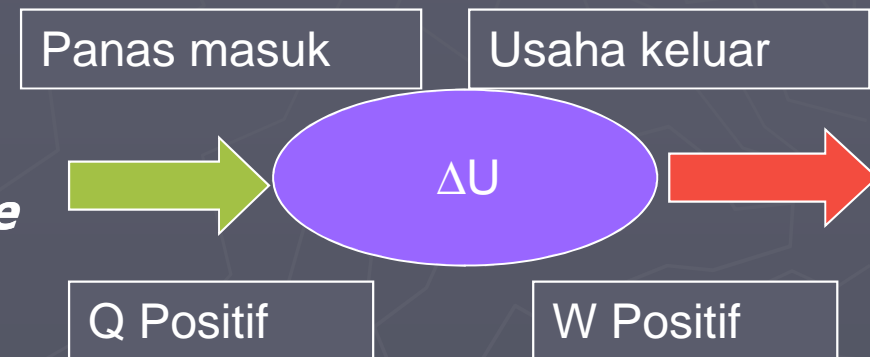
- ▶ panas
- ▶ Positif jika energi berpindah *ke dalam* sistem

- **W**

- ▶ Usaha
- ▶ Positif jika usaha yang dilakukan *oleh* sistem pada sekitarnya.

- **U**

- ▶ Energi dalam
- ▶ Positif jika temperatur naik.



$$\Delta U = Q - W$$

$$Q = \Delta U + W$$

Hukum Pertama Termodinamika

- ▶ Hubungan antara U , W , dan Q dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\Delta U = U_f - U_i = Q + (-W)$$
$$Q = \Delta U + W$$

- ▶ Panas neto yang ditambahkan pada suatu sistem sama dengan perubahan energi dalam sistem ditambah usaha yang dilakukan oleh sistem.

Aplikasi hukum Pertama Termodinamika

1. Sistem Terisolasi

- ▶ Sebuah **sistem terisolasi** tidak dapat berinteraksi dengan sekitar.
- ▶ Tidak ada perpindahan energi yang terjadi dan tidak ada usaha yang dilakukan.
- ▶ Oleh karena itu energi dalam pada sistem terisolasi menjadi konstan.

Aplikasi Hukum Pertama Termodinamika

2. Proses Siklus

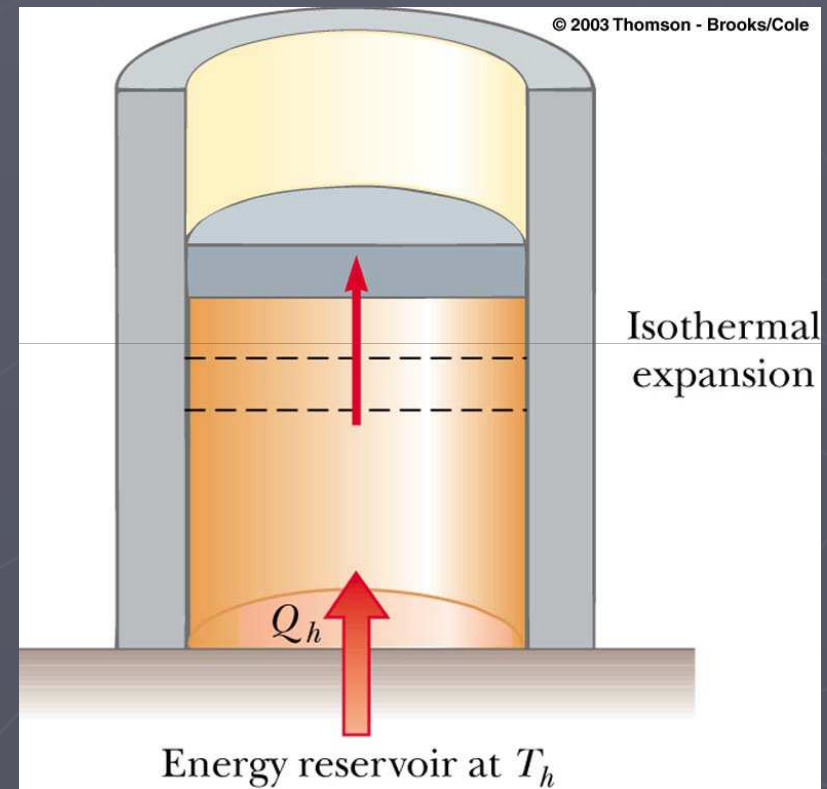
- ▶ Proses siklus adalah suatu proses dimana keadaan awal dan keadaan akhir sama.

$$U_f = U_i \text{ dan } Q = -W$$

- ▶ Jumlah usaha yang dikerjakan oleh gas pada setiap siklus sama dengan luas area di dalam kurva tertutup yang digambarkan pada diagram PV.

3. Proses Isotermal

- ▶ Isotermal berarti temperatur konstan
- ▶ Silinder Dan Gas berada dalam kontak termal dengan sumber energi yang besar.
- ▶ Dengan demikian melalui pemanasan energi akan berpindah ke dalam gas.
- ▶ Ekspansi gas dan penurunan tekanan akan mempertahankan temperatur tetap konstan.
- ▶ Usaha yang dilakukan adalah negatif seiring dengan bertambahnya panas.



4. Proses Adiabatik

- ▶ Pertukaran energi yang diakibatkan oleh panas sama dengan nol.
- ▶ Usaha yang dilakukan sama dengan perubahan energi dalam sistem.
- ▶ Jika suatu proses tidak ada pertukaran panas akan terjadi sangat cepat
- ▶ Di dalam suatu ekspansi adiabatik, usaha yang dilakukan adalah negatif dan energi dalam akan berkurang

5. Proses Isovolum

- ▶ Tidak terjadi perubahan volume, sehingga tidak ada usaha yang bekerja.
- ▶ Peningkatan energi ke dalam sistem menyebabkan energi dalam naik. Dan temperatur akan naik.

Hukum Pertama dan Metabolisme Tubuh Manusia

- ▶ Hukum pertama termodinamika dapat diaplikasikan pada metabolisme tubuh manusia.
- ▶ Energi dalam yang disimpan tubuh manusia diubah bentuknya sesuai dengan kebutuhan organ tubuh kita yaitu untuk melakukan usaha berupa panas.
- ▶ *Laju metabolisme* ($\Delta U / \Delta T$) adalah berbanding lurus laju pengonsumsi oksigen terhadap volume.
 - Tingkat laju metabolisme (untuk memelihara dan menjalankan organ/ bagian badan, dll.) adalah sekitar 80 W.

Variasi Laju Metabolisme

TABLE 12.1 Oxygen Consumption and Metabolic Rates for Various Activities for a 65-kg Male^a

Activity	O ₂ use rate (mL/min · kg)	Metabolic rate (kcal/h)	Metabolic rate (W)
Sleeping	3.5	70	80
Light activity (dressing, slow walking, desk work)	10	200	230
Moderate activity (walking briskly)	20	400	465
Heavy activity (basketball, fast breast stroke)	30	600	700
Extreme activity (bicycle racing)	70	1 400	1 600

^a Source: *A Companion to Medical Studies*, 2/e, R. Passmore, Philadelphia, F. A. Davis, 1968.

© 2003 Thomson - Brooks/Cole

Fig. T12.1, p. 369

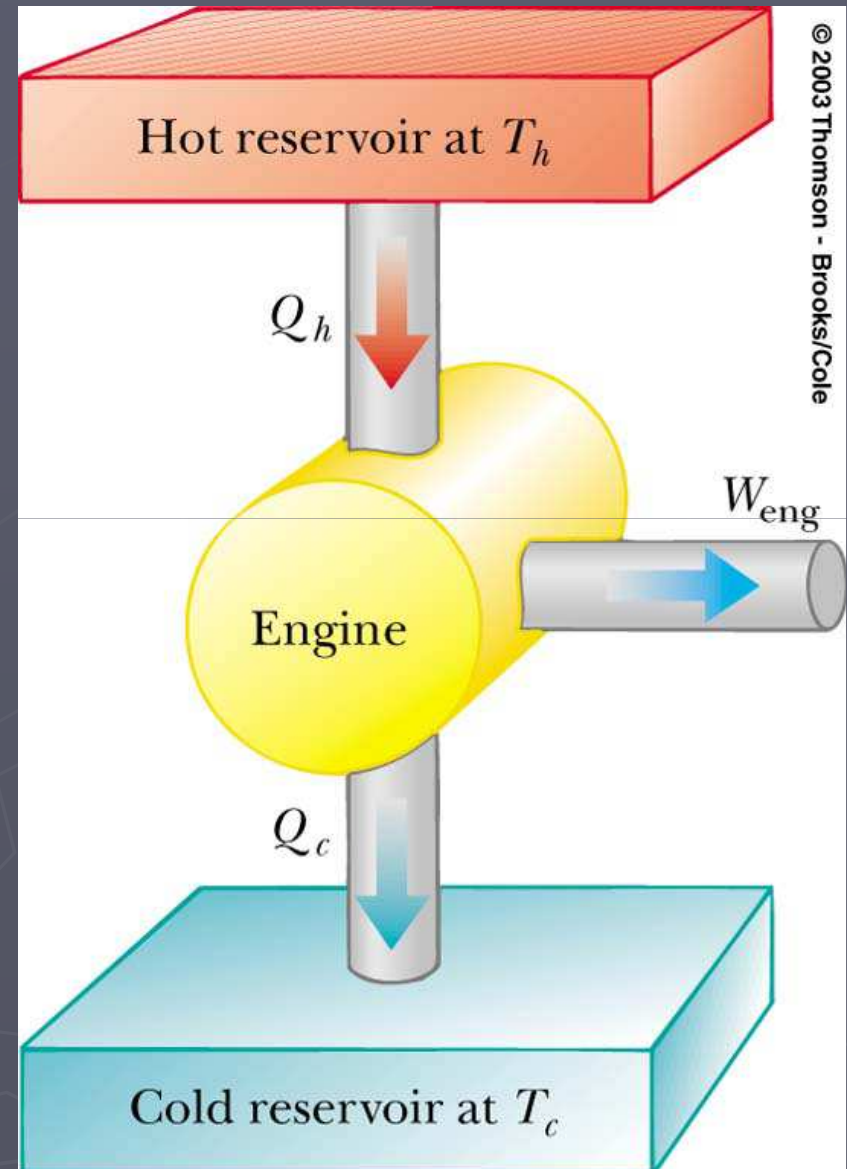
Slide 11

MESIN PANAS

- ▶ **Mesin panas adalah suatu alat** yang mengkonversi energi internal menjadi bentuk lain yang bermanfaat, seperti elektrik atau daya mekanis.
- ▶ Suatu mesin panas membawa unsur untuk bekerja melalui suatu proses siklus.

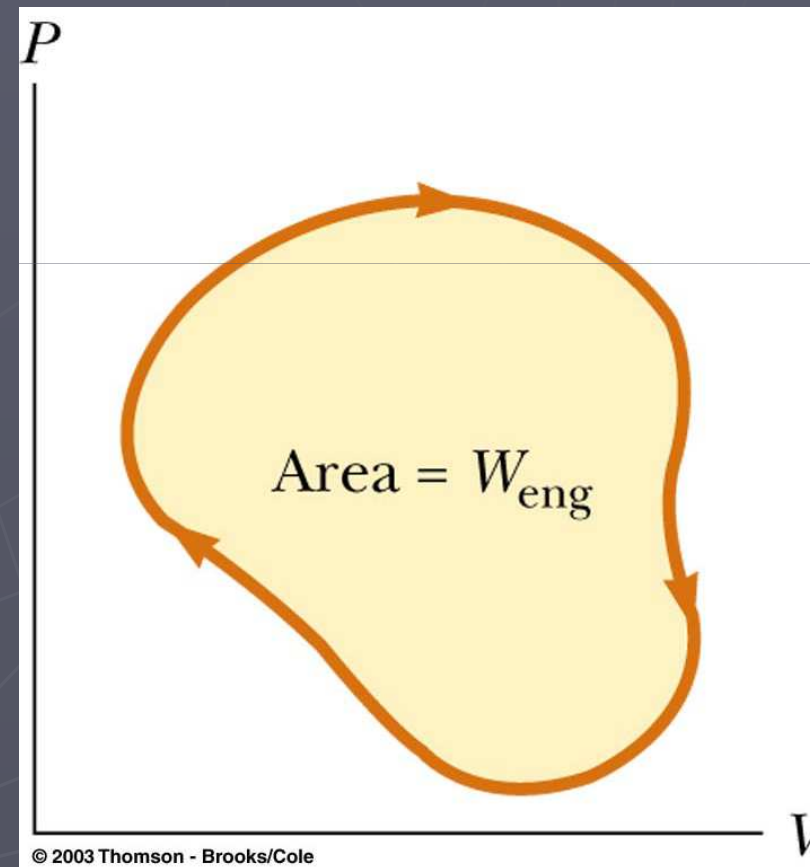
Mesin Panas

- ▶ Energi ditransfer dari suatu sumber pada suatu temperatur tinggi (Q_h)
- ▶ Pekerjaan dilaksanakan oleh mesin/motor tersebut (W_{eng})
- ▶ Energi dibuang ke suatu temperatur yang lebih rendah (Q_c)



Mesin Panas

- ▶ Selama prosesnya berupa siklus, maka
 $\Delta U = 0$
 - Energi dalam awal sama dengan energi dalam akhir.
- ▶ maka, $Q_{\text{net}} = W_{\text{eng}}$
- ▶ Usaha yang dilakukan oleh mesin kalor sama dengan jumlah energi yang diserap oleh mesin.
- ▶ Usaha adalah sama dengan luas di dalam kurva tertutup pada diagram PV.



Efisiensi Termal pada sebuah Mesin Panas

- ▶ **Efisiensi termal** didefinisikan sebagai rasio antara kerja yang dilakukan oleh mesin terhadap energi yang diserap oleh mesin pada temperatur tinggi. η

$$e = \frac{W_{eng}}{|Q_h|} = \frac{|Q_h| - |Q_c|}{|Q_h|} = 1 - \frac{|Q_c|}{|Q_h|}$$

- ▶ $e (\eta) = 1$ (efisiensi 100%) hanya jika $Q_c = 0$
 - Tidak ada energi yang dibuang ke reservoir dingin.

Hukum Kedua Termodinamika

- ▶ Tidak mungkin bagi sebuah mesin panas yang bekerja secara siklis untuk tidak menghasilkan efek lain selain menyerap panas dari suatu tandon dan melakukan sejumlah usaha yang ekuivalen.
 - Artinya Q_c tidak sama dengan nol
 - ▶ Sebagian Q_c harus dibuang ke lingkungan.
 - Dengan demikian η tidak sama dengan 100%

Pompa Panas dan Lemari Es

- ▶ Mesin panas dapat bekerja kebalikannya
 - Masukkan energi
 - Energi disadap dari reservoir yang dingin
 - Energi ditransfer ke reservoir yang panas
- ▶ Proses mesin panas ini bekerja sebagai pompa panas.
 - Lemari es merupakan salah satu contoh pompa panas
 - Contoh lainnya adalah alat pendingin (AC)

Entropi

- ▶ Variabel keadaan yang berhubungan dengan Hukum kedua termodinamika adalah Entropi.
- ▶ Perubahan entropi dinyatakan dengan ΔS , yaitu panas yang harus ditambahkan pada sistem dalam suatu proses reversibel untuk membawanya dari keadaan awalnya ke keadaan akhirnya Q_r dibagi dengan temperatur absolut T pada sistem dalam interval tersebut.

Entropi

- ▶ Secara matematis

$$\Delta S = \frac{Q_r}{T}$$

- ▶ Persamaan ini hanya dapat diterapkan pada bagian proses yang reversibel, walaupun pada kenyataannya sistem merupakan irreversibel.
 - Untuk menghitung besarnya entropi untuk proses irreversibel dimodelkan sebagai proses reversibel.
- ▶ Ketika energi diserap, Q berharga positif dan entropi akan naik.
- ▶ Ketika energi dibuang, Q akan berharga negatif dan entropi akan turun.

Beberapa Tambahan Mengenai Entropi

- ▶ Hukum kedua Termodinamika dinyatakan dalam entropi: "Suatu proses alam berubah dari keadaan seimbang mula-mula ke keadaan seimbang yang lain, berlangsung dalam arah yang menyebabkan entropi alam itu naik"
- ▶ Proses yang terjadi secara alamiah disebut proses spontan.
- ▶ Contohnya, besi berkarat, air mengalir ke tempat yang lebih rendah, dan benda jatuh ke bawah.
- ▶ Proses yang sebaliknya tidak pernah terjadi. Tidak mungkin air mengalir dari tempat rendah ke tempat yang tinggi. Untuk mengalirkannya memerlukan energi.

Beberapa Tambahan Mengenai Entropi

- ▶ Entropi menyatakan *ukuran ketidakteraturan* suatu sistem.
- ▶ Misalnya suatu gas dalam sebuah tabung, molekul-molekulnya bergerak secara acak, besar dan arah kecepatan molekul tidak beraturan. Makin tidak teratur kecepatan molekul-molekul gas, makin tinggi entropi gas itu. Kalau suatu gas dipanaskan, entropinya naik, dan kalau gas itu didinginkan entropinya turun.