



TOPIK: PANAS DAN HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA

SOAL-SOAL KONSEP:

1. Berikanlah perbedaan antara temperatur, panas (kalor) dan energi dalam!

JAWAB:

Temperatur adalah ukuran gerakan molekuler. Panas/kalor adalah energi yang saling dipertukarkan di antara objek-objek tertentu melalui tumbukan-tumbukan molekuler acak. Energi dalam adalah energi sebuah benda karena gerakan acak molekulernya dan interaksi molekulernya.

2. Apakah mungkin mengubah energi dalam menjadi energi mekanis? Jelaskanlah jawaban Anda dengan contoh!

JAWAB:

Mungkin saja. Mesin lokomotif uap adalah contoh yang baik untuk menjelaskan bagaimana energi dalam diubah menjadi energi mekanis. Air dipanaskan sampai melewati titik didih sehingga menguap. Melalui proses mekanis yang dikontrol, ekspansi uap air dibiarkan untuk menekan sebuah piston. Energi kinetik translasi piston seringkali diubah menjadi energi kinetik rotasi dari roda-roda mesin uap itu.



3. Mengapa seseorang mampu memindahkan selembar daun/lempeng aluminium (*aluminium foil*) kering dari sebuah oven panas dengan jari telanjang (tanpa pelindung), sedangkan jika ada sedikit embun/kelembaban pada lempeng aluminium, jari-jari tangannya akan terbakar?

JAWAB:

Ada 3 properti yang perlu dipertimbangkan dalam kasus ini: konduktivitas panas, panas spesifik, dan massa. Dengan aluminium yang panas itu, konduktivitas termalnya lebih besar daripada konduktivitas kulit (kering) pada jari tangan. Hal ini berarti bahwa energi dalam aluminium dapat lebih gampang ditransferkan ke udara (lingkungan luar) daripada jari tangan. Intinya, jari tangan berperan seperti isolator panas (samapai batas tertentu) relatif terhadap aluminium. Jika dalam keadaan basah, aluminium dapat juga membasahi lapisan luar kulit agar menjadi konduktor panas yang baik; maka lebih banyak energi dalam aluminium yang dapat masuk ke kulit. Lebih jauh, air itu sendiri, dengan massa tambahan dan panas spesifik yang relatif lebih besar daripada aluminium, dapat menjadi sumber energi ekstra yang mungkin akan membakar kulit pada jari tangan. Secara praktis, ketika sedang memegang aluminium foil yang kering dan panas, transfer panas akan segera berhenti. Namun, ketika sedang memegang aluminium foil yang panas dan basah (sedikit mengandung embun, lembab), maka air yang menjadi

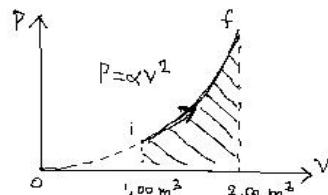


panas akan merusak kulit jari tangan, karena transfer panas terus berlanjut, dan akan lebih banyak energi yang diberikan ke kulit jari tangan.

SOAL-SOAL HITUNGAN:

1. Volume sebuah sampel gas ideal diperbesar 2 kali volume awalnya sebesar $1,00 \text{ m}^3$ dalam proses di mana $P = \alpha V^2$, dengan $\alpha = 5,00 \text{ atm/m}^6$, seperti yang ditunjukkan pada gambar. Berapakah kerja yang dilakukan ketika gas berekspansi?

JAWAB:



$i \equiv$ keadaan awal
 $f \equiv$ keadaan akhir

$$W_{if} = - \int_i^f P dV \Rightarrow \text{Usaha yang dilakukan pd gas adalah negatif luas area di bawah kurva } P = \alpha V^2$$

$$W_{if} = - \int_i^f \alpha V^2 dV = - \frac{1}{3} \alpha (V_f^3 - V_i^3)$$

$$V_f = 2V_i = 2(1,00 \text{ m}^3) = 2,00 \text{ m}^3$$

$$W_{if} = - \frac{1}{3} \left[(5,00 \text{ atm/m}^6) (1,013 \times 10^5 \text{ Pa/atm}) \right] \left[(2,00 \text{ m}^3)^3 - (1,00 \text{ m}^3)^3 \right]$$

$$= -1,18 \text{ MJ}$$



2. James Joule melakukan percobaan untuk menerangkan perubahan bentuk-bentuk energi, yaitu dari energi mekanik menjadi energi dalam atau sebaliknya. Untuk itu ia berusaha mengukur kenaikan temperatur air yang jatuh dari suatu ketinggian tertentu (air terjun). Jika temperatur air di puncak air terjun adalah 10.0°C dan jatuh dari ketinggian $50,0$ meter, berapakah temperatur maksimum pada dasar air terjun itu? Joule saat itu tidak berhasil mengukur perubahan temperatur, sebagian karena temperaturnya kurang sensitif dan karena penguapan air yang jatuh.

JAWAB:

Dengan mengambil $m = 1,00 \text{ kg}$,

$$\Delta U_g = mgh = (1,00 \text{ kg})(9,80 \text{ m/s}^2)(50,0 \text{ m})$$
$$= 490 \text{ J}$$

Tetapi $\Delta U_g = Q = mc\Delta T$

$$\Delta U_g = (1,00 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C})\Delta T = 490 \text{ J}$$

diperoleh:

$$\Delta T = \frac{\Delta U_g}{mc}$$
$$\Delta T = 0,117^{\circ}\text{C}$$

Dari hubungan: $T_f = T_i + \Delta T$, maka

$$T_f = (10,0 + 0,117)^{\circ}\text{C}$$

$T_i \equiv$ temperatur awal

$T_f \equiv$ temperatur akhir



3. Sebuah cangkir aluminium bermassa 200 gram berisi 800 gram air dalam keadaan setimbang termal pada temperatur 80,0 °C. Cangkir dan air didinginkan secara uniform sedemikian sehingga temperaturnya turun 1,50 °C per menit. Pada laju berapakah energi dipindahkan oleh panas? Nyatakan jawaban Anda dalam satuan watt!

JAWAB:

Besar energi yang dipindahkan
setiap menit:

$$Q = [m_c c_c + m_{\text{air}} c_{\text{air}}] \Delta T$$
$$Q = [(0,2 \text{ kg})(900 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) + (0,8 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C})] (-1,50^\circ\text{C}) = -5290 \text{ J}$$

Laju aliran energi:

$$P = \frac{|Q|}{t} = \frac{5290 \text{ J}}{60 \text{ detk.}}$$

$$= 88,2 \text{ J/dtk.}$$

$$P = 88,2 \text{ Watt}$$



4. Berapa besar energi yang diperlukan untuk mengubah 40 gram balok es dari temperatur $-10,0^\circ\text{C}$ menjadi 110°C ?

JAWAB:

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$Q_1 \equiv$ kalor yg diperlukan untuk mencapai titik leleh

$Q_2 \equiv$ kalor yg diperlukan untuk mencair

$Q_3 \equiv$ kalor yg diperlukan utk mencapai titik didih

$Q_4 \equiv$ kalor untuk menguapkan air

$Q_5 \equiv$ kalor untuk menaikkan temperatur 110°C .

$$Q_{\text{total}} = 0,040 \text{ kg} \left[(2090 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(10^\circ\text{C}) + (3,33 \times 10^5 \text{ J/kg}) + (4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(100^\circ\text{C}) + (2,26 \times 10^6 \text{ J/kg}) + (2010 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(10^\circ\text{C}) \right]$$

$$Q_{\text{total}} = 1,22 \times 10^5 \text{ Joule} \left\{ \begin{array}{l} \text{Ini adalah kalor yang diperlukan} \\ \text{untuk menaikkan temperatur} \\ \text{es } -10^\circ\text{C menjadi uap air } 110^\circ\text{C.} \end{array} \right.$$



5. Satu mol gas ideal melakukan kerja 3000 J terhadap lingkungan sekelilingnya ketika gas itu berekspansi isothermal menuju tekanan akhir 1,00 atm dan volume akhir 25,0 L. Tentukanlah (a) volume awal dan (b) temperatur gas ideal itu!

JAWAB:

$$a) W = -nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = -P_f V_f \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

V_f \equiv volume akhir; V_i \equiv volume awal

$$V_i = V_f \exp\left[\frac{W}{P_f V_f}\right] = (0,025) \exp\left(\frac{3000}{(0,025)(1,013 \times 10^5)}\right) = 0,00765 \text{ m}^3$$

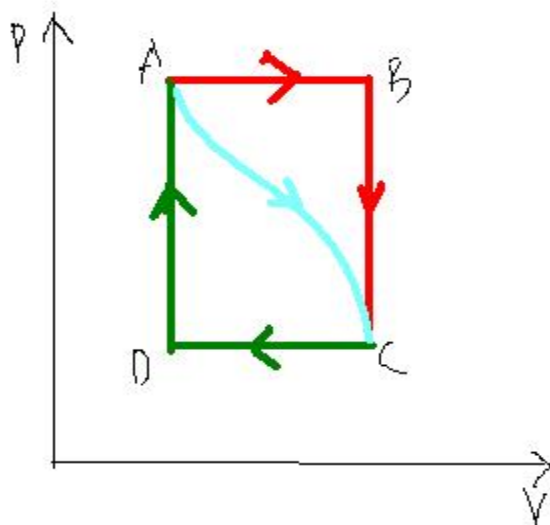
P_f \equiv tekanan akhir gas ideal

$$b) T_f = \frac{P_f V_f}{nR}$$
$$= \frac{1,013 \times 10^5 \text{ Pa} (0,025 \text{ m}^3)}{1,00 \text{ mol} (8,314 \text{ J/K}\cdot\text{mol})}$$

$$T_f = 305 \text{ K}$$



6. Pada gambar berikut, perubahan energi dalam suatu gas yang terjadi dari A ke C adalah +800 J. Kerja yang dilakukan pada gas sepanjang ABC adalah -500 J. (a) Berapa besar energi yang harus ditambahkan oleh panas ke dalam sistem dari A ke B ke C? (b) Jika tekanan pada A 5 kalinya tekanan pada C, berapakah kerja yang dilakukan pada sistem dari C ke D? (c) Berapakah pertukaran energi dengan lingkungan oleh panas ketika siklus bergerak dari C ke A melalui lintasan berwarna hijau? (d) Jika perubahan energi dalam saat siklus bergerak dari titik D ke titik A adalah +500 J, berapakah energi yang harus ditambahkan ke sistem oleh panas ketika siklus bergerak dari titik C ke titik D?





JAWAB:

kekkekalan energi: $\Delta E_{\text{dalam, ABC}} = \Delta E_{\text{dalam, AC}}$

a) $\Delta E_{\text{dalam, ABC}} = Q_{\text{ABC}} + W_{\text{ABC}} \dots \dots \dots$ Hukum I
Termodinamika

$$Q_{\text{ABC}} = 800 \text{ J} + 500 \text{ J} = 1300 \text{ J}.$$

b) $W_{\text{CD}} = -P_{\text{C}} \Delta V_{\text{CD}} ; \Delta V_{\text{AB}} = -\Delta V_{\text{CD}} ; P_{\text{A}} = 5 P_{\text{C}}$

$$W_{\text{CD}} = \frac{1}{5} P_{\text{A}} \Delta V_{\text{AB}} = -\frac{1}{5} W_{\text{AB}} = 100 \text{ J}.$$

(Tanda + artinya kerja dilakukan Pada Sistem)

c) $W_{\text{CDA}} = W_{\text{CD}} ; \text{shg } Q_{\text{CA}} = \Delta E_{\text{dalam, CA}} - W_{\text{CDA}}$
 $= -800 \text{ J} - 100 \text{ J} = -900 \text{ J}.$

Tanda - artinya energi hrs dipindahkan dari sistem dalam bentuk panas.

d) $\Delta E_{\text{dalam, CD}} = \Delta E_{\text{dalam, CDA}} - \Delta E_{\text{dalam, DA}} = -800 \text{ J} - 500 \text{ J} = -1300 \text{ J}.$

dan $Q_{\text{CD}} = \Delta E_{\text{dalam, CD}} - W_{\text{CD}} = -1300 \text{ J} - 100 \text{ J} = -1400 \text{ J}$



7. Sebuah transistor daya adalah alat elektronik zat padat. Asumsikan bahwa energi yang masuk ke dalam alat tersebut pada laju 1,50 W oleh transmisi listrik menyebabkan kenaikan energi dalam alat. Luas permukaan transistor sangat kecil sehingga cenderung menjadi kelebihan panas. Untuk mencegah panas berlebihan, transistor disatukan dengan penampung panas dari logam yang lebih besar (*heat sink*). Temperatur penampung panas itu tetap konstan 35,0 °C dalam keadaan *steady-state*. Transistor diisolasi secara listrik dari penampung panas dengan lembaran mika dengan ukuran 8,25 x 6,25 x 0,0852 mm. Konduktivitas listrik mika sama dengan 0,0753 W/m°C. Berapakah temperatur operasi dari transistor itu?

JAWAB:

Asumsikanlah bahwa luas permukaan transistor sangatlah kecil sehingga aliran energi (panas) dari transistor ke udara bebas dapat diabaikan (sangat kecil) dibandingkan dengan konduksi energi panas melalui mika.

$$P = kA \frac{(T_h - T_c)}{L}$$
$$T_h = T_c + \frac{PL}{kA} = 35,0^\circ\text{C} + \frac{1,50\text{W} (0,0852 \times 10^{-3}\text{m})}{(0,0753\text{W/m}^\circ\text{C})(8,25 \times 6,25)10^{-6}\text{m}^2}$$
$$= \underline{\underline{67,9^\circ\text{C}}}$$



8. Permukaan Matahari bersuhu kira-kira 5800 K. Jari-jari matahari $6,96 \times 10^8$ meter.

Hitunglah energi radiasi total oleh matahari per detiknya. Asumsikan bahwa emisivitas matahari adalah 0,965.

JAWAB:

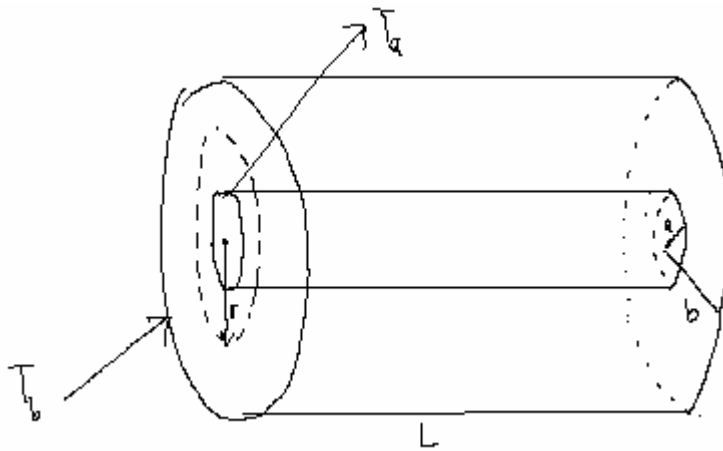
$$P = \sigma A T^4 e$$
$$= (5,6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \left[4\pi (6,96 \times 10^8 \text{ m})^2 \right] (0,965) (5800 \text{ K})^4$$

$$P = 3,77 \times 10^{26} \text{ Watt.}$$

energi sebesar ini (per satuan waktu) mungkin akan habis sampai 10^6 tahun lagi.



9. Bagian dalam sebuah silinder kecil dibiarkan pada temperatur T_a sementara bagian luarnya pada temperatur yang lebih rendah, T_b (lihat gambar).



Dinding silinder mempunyai konduktivitas termal k . Dengan mengabaikan efek-efek pada ujung-ujung silinder, tunjukkanlah bahwa laju konduksi energi dari bagian dalam ke bagian luar permukaan dalam arah radial adalah

$$\frac{dQ}{dt} = 2\pi Lk \left[\frac{T_a - T_b}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \right]$$

Ingat: gradien temperatur adalah dT/dr dan ada arus energi radial melewati silinder yang luasnya $2\pi rL$.

JAWAB:



radius : r

tinggi : L

ketebalan : dr

$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad \longrightarrow \quad \frac{dQ}{dt} = -k(2\pi rL) \frac{dT}{dr}$$

Kondisi setimbang, $\frac{dQ}{dt} = \text{konstan}$.

$$dT = - \frac{dQ}{dt} \left(\frac{r}{2\pi kL} \right) \left(\frac{dr}{r} \right)$$

$$T_b - T_a = - \frac{dQ}{dt} \left(\frac{r}{2\pi kL} \right) \ln \left(\frac{b}{a} \right)$$

$$T_a > T_b : \quad \frac{dQ}{dt} = \frac{2\pi kL (T_a - T_b)}{\ln \left(\frac{b}{a} \right)}$$
