

## BAB 19

## KUANTITAS (JUMLAH) PANAS

19-1 Panas, suatu bentuk energi. Dahulunya panas itu dikira berupa zat alir tanpa berat dan tak dapat dilihat, disebut *kalor*, yang dapat ditimbulkan jika ada bahan yang dibakar dan dapat diteruskan dari benda yang satu ke benda yang lain dengan cara konduksi. Sebagai akibat berkembangnya ilmu fisika dalam abad ke-18 dan ke-19, teori kalori ini ditinggalkan. Dua ahli yang terutama membawa kita kepada pandangan yang masih kita pergunakan sekarang ini ialah Count Rumford (1753-1814) (lahir di Woburn, Mass.) dan Sir James Prescott Joule.

Pekerjaan Rumford ialah mengepalai pengeboran laras meriam untuk pemerintah Bavaria. Supaya jangan sampai terlampaui panas, lubang yang dibor itu selalu diisi air dan karena air ini menjadi mendidih dan lenyap, maka air harus ditambah terus-menerus. Anggapan pada masa itu ialah bahwa supaya mendidih haruslah dibubuhkan kalor pada air itu; dan timbulnya panas yang terus-menerus itu diterangkan berdasarkan *hypothese*, bahwa jika sesuatu bahan dibagi-bagi menjadi bahagian-bahagian yang sangat kecil (seperti waktu pengeboran itu), maka kesanggupannya untuk menyimpan panas bertambah kecil dan kalor yang akan lepas karena itulah yang menimbulkan mendidihnya air tersebut.

Tetapi Rumford menyaksikan, bahwa air pendingin itu tetap saja mendidih dan lenyap, walaupun alat pengeborannya telah menjadi demikian tumpulnya, hingga sudah tidak "makan" lagi. Jadi, alat pengebor yang tumpul pun seolah-olah menjadi sumber kalor yang tiada batasnya, *selama tetap diberikan usaha mekanik untuk memutar alat pengebor tersebut*.

Salah satu sebab mengapa kita dapat menerima kebanyakan gagasan abstrak dalam ilmu fisika ialah karena tunduknya gagasan tersebut pada suatu "asas kekekalan". Dalam proses yang disinggung di atas, ada *dua* besaran yang tidak tunduk asas ini. Energi mekanik tidak kekal karena ada usaha yang terus-menerus digunakan, sedangkan kalor juga tidak kekal karena timbul terus-menerus pula. Walaupun Rumford mengungkapkan buah pikirannya bukan dalam bentuk ini, tetapi ia dapat meniadakan dua hal yang tidak tunduk asas kekekalan dan sekaligus memperluas konsep asas kekekalan energi, lebih luas dari pada yang diterima orang pada masa itu. Dikemukakannya bahwa apa yang sebelumnya dianggap sebagai suatu kesatuan yang berdiri sendiri, yaitu kalor, sebenarnya tidak lain adalah energi dalam suatu bentuk lain. Prosesnya bukanlah hilangnya sesuatu terus-menerus dan timbulnya sesuatu yang lain, melainkan hanya berupa perubahan energi dari suatu wujud ke wujud lain. Seperti kita katakan sekarang, energi mekanik terus-menerus berubah wujudnya menjadi energi panas, sedangkan prosesnya merupakan suatu contoh kekekalan energi.

Rumford telah melakukan beberapa pengukuran tentang banyaknya usaha yang dilakukan dan tentang air-pendingin yang lenyap akibat mendidih. Tetapi eksperimen-eksperimen yang dilakukannya tidak begitu tinggi presisinya. Waktu Joule

membuktikan, antara tahun 1843 dan 1878, bahwa jika suatu kuantitas energi mekanik berubah menjadi energi panas, maka akan selalu timbul kuantitas energi panas yang *sama*. Dengan ini kesetaraan antara panas dan usaha sebagai dua wujud energi menjadi suatu kepastian ilmiah.

Tentu ada kejadian yang dapat diterangkan berdasarkan teori kalor secara memuaskan sekali. Misalnya, jika panas mengalir dari suatu benda ke benda lain secara konduksi, atau bila zat-zat yang berbeda suhunya dicampurkan di dalam kalorimeter, maka jumlah panas tidak akan berubah. Untuk proses-proses seperti ini teori kalor dapat dipergunakan dengan baik.

19-2 Kuantitas panas. Seperti halnya dengan energi mekanik, panas pun bukanlah sesuatu yang ada rupanya yang dapat diraba dan satuan panas bukan sesuatu yang dapat disimpan di dalam Laboratorium Standard. Jumlah banyaknya panas di dalam suatu proses diukur berdasarkan beberapa perubahan yang menyertai proses itu. Maka satuan panas didefinisikan sebagai panas yang diperlukan untuk menimbulkan suatu perubahan standard yang sudah diperjanjikan dahulu. Pada umumnya digunakan tiga macam satuan, yaitu kilogram-kalori, gram-kalori dan British thermal unit (Btu).

Satu kilogram kalori ialah banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu kilogram air sebesar  $1\text{ C}^{\circ}$ .

Satu gram kalori ialah banyaknya panas yang diperlukan menaikkan suhu satu gram air sebesar  $1\text{ C}^{\circ}$ .

Tidak perlu diterangkan lagi, bahwa  $1\text{ kilogram-kalori} = 1000\text{ gram-kalori}$ .

Satu Btu ialah banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu pound air sebesar  $1\text{ F}^{\circ}$ . \*)

Karena  $454\text{ gm} = 1\text{ lb}$  dan  $1\text{ F}^{\circ} = \frac{5}{9}\text{ C}^{\circ}$ , maka Btu dapat didefinisikan sebagai banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu  $454\text{ gm}$  air ( $0,454\text{ kg}$ ) sebesar  $\frac{5}{9}\text{ C}^{\circ}$ , yang adalah  $454 \times \frac{5}{9}\text{ gm-kal}$  atau  $0,252\text{ kgm-kal}$ .

Jadi:

$$1\text{ Btu} = 252\text{ gm-cal} = 0,252\text{ kgm-cal.}$$

Dalam ilmu fisika dan kimia, gram-kalori itu lebih banyak dipakai daripada kilogram-kalori. Dari saat ini kita akan mempergunakan istilah kalori yang berarti gram-kalori, kecuali kalau diterangkan bahwa lain yang dimaksudkan.

Satuan panas yang didefinisikan di sini agak berbeda-beda, tergantung dari apakah daerah derajatnya, dari  $0^{\circ}$  ke  $1^{\circ}$ , dari  $47^{\circ}$  ke  $48^{\circ}$  dan sebagainya. Pada umumnya sudah disetujui untuk mempergunakan selang suhu dari  $14,5^{\circ}\text{ C}$  ke  $15,5^{\circ}\text{ C}$  ("kalori dari  $15^{\circ}$ "). Dalam satuan Inggris dipergunakan selang temperatur

\*) Pada pembicaraan ini kita meninggalkan sistem gravitasi Inggris yang telah kita pergunakan terus-menerus di dalam mekanika. Sebagai satuan massa kita pergunakan sekarang *massa pound standard*. Satuan ini juga disebut satu pound dan sama dengan massa  $454\text{ gm}$  atau (kira-kira)  $1/32\text{ slug}$ . Juga, supaya lebih mudah, kita hanya mempergunakan sistem c.g.s. saja kalau memakai satuan metrik.

dari 63° F ke 64° F. Untuk kebanyakan tujuan, perubahan ini demikian kecilnya hingga dapat diabaikan.

Amatlah pentingnya untuk memahami perbedaan antara "jumlah panas" dengan "suhu." Pada umumnya istilah ini salah mempergunakannya dalam kehidupan sehari-hari. Andaikan kita punya dua buah bejana. Yang pertama berisi air sedikit, yang kedua berisi air banyak. Keduanya ditempatkan di atas nyala gas yang tepat sama dan dipanaskan untuk waktu yang sama pula. Teranglah bahwa pada akhir waktu ini, suhu air yang sedikit itu akan jauh lebih tinggi daripada yang banyak. Dalam contoh ini memang diberikan jumlah panas yang sama pada air di tiap bejana, tetapi kenaikan suhunya tidak sama.

Andaikan sekarang suhu kedua bejana dengan isinya pada permulaan sama dengan 15° C lalu keduanya dipanaskan menjadi 100° C. Teranglah kiranya bahwa harus lebih banyak diberikan panas pada bejana yang mengandung lebih banyak air. Keduanya mengalami kenaikan suhu yang sama, tetapi jumlah panas yang diberikan amat berbeda.

Jumlah banyaknya panas akan kita beri simbol dengan huruf  $Q$ .

**19-3 Tara panas—mekanik.** Energi mekanik biasanya dinyatakan dengan erg, joule, dan ft-lb. Energi panas dinyatakan dengan kalori atau Btu. Besar relatif "satuan panas" terhadap "satuan mekanik" dapat ditentukan berdasarkan eksperimen di mana sejumlah energi mekanik yang terukur seluruhnya berubah menjadi sejumlah yang terukur pula energi panas. Eksperimen-eksperimen pertama yang seksama dilakukan oleh Joule. Ia menggunakan sebuah aparat di mana beban-beban yang jatuh menyebabkan berputarnya sepasang dayung (seperti daun baling-baling) dalam bejana berisi air. Energi yang berubah dihitung dalam satuan mekanik berdasarkan berat beban tadi serta ketinggian jatuhnya, dan dalam satuan panas berdasarkan pengukuran massa air serta kenaikan suhunya. Pada metode yang lebih mutakhir, yang ketepatan hasilnya lebih tinggi, energi listrik diubah menjadi energi panas di dalam kawat tahanan yang dibenamkan ke dalam air. Hasil terbaik yang dapat diperoleh sampai sekarang ialah :

$$\begin{aligned} 778 \text{ ft}\cdot\text{lb} &= 1 \text{ Btu.} \\ 4,186 \text{ joules} &= 1 \text{ gm}\cdot\text{cal.} \\ 4186 \text{ joules} &= 1 \text{ kgm}\cdot\text{cal.} \end{aligned}$$

Artinya, energi mekanik sebesar 778 ft.lb, bila diubah menjadi energi panas, akan menaikkan suhu 1 lb air sebesar 1F°, dan seterusnya.

Hubungan ini sering dinyatakan seperti berikut: *Tara panas-mekanik* (mechanical equivalent of heat) sama dengan 4,186 joule/gm-kal, atau 778 ft-lb/Btu. Ungkapan ini merupakan peninggalan waktu-waktu pertama kesetaraan antara energi mekanik dan energi panas baru diterima umum.

Harga tara panas-mekanik yang tepat tergantung dari selang suhu yang dipergunakan dalam mendefinisikan kalori atau Btu. Untuk menghindarkan kekacauan, maka suatu panitia Internasional telah sepakat untuk mendefinisikan 1 kg kal tepat sama dengan 1/860 kilowatt-jam. Lalu berdasarkan definisi, 1 gm-kal = 4,18605 joule dan 1 Btu = 778,26 ft-lb.

Dari itu 1 Btu = 251,996 gm-kal.

**19-4 Kapasitas panas. Panas jenis.** Banyaknya panas yang diperlukan untuk menimbulkan kenaikan suhu yang sama, berbeda-beda dari bahan ke bahan. Andaikan suhu sebuah benda naik dengan  $\Delta t$  derajat, sebagai akibat pemberian panas padanya sebanyak  $Q$ ! Perbandingan antara banyaknya panas yang diberikan dengan kenaikan suhu, disebut *kapasitas panas* benda tersebut.

$$\text{kapasitas panas} = \frac{Q}{\Delta t} \quad (19-1)$$

Pada umumnya kapasitas panas dinyatakan dengan kalori per C° atau Btu per F°. Jika dalam Persamaan (19-1)  $\Delta t = 1$ , maka kapasitas panas suatu benda secara numerik sama dengan jumlah panas yang harus diberikan pada benda itu agar suhunya naik satu derajat.

Untuk memperoleh angka yang khas bagi bahan benda yang bersangkutan, *kapasitas panas jenisnya* (specific heat capacity) didefinisikan sebagai *kapasitas panas per satuan massa* bahannya. Kapasitas panas jenis kita beri simbol huruf  $c$ .

$$c = \frac{\text{Kapasitas panas}}{\text{massa}} = \frac{Q/\Delta t}{m} = \frac{Q}{m \Delta t} \quad (19-2)$$

Kapasitas panas jenis dinyatakan dengan kalori per gram-C°, atau Btu per pound-F°.

Kapasitas panas jenis suatu bahan secara numerik sama dengan jumlah panas yang harus diberikan pada *satuan massa* bahan tersebut agar suhunya naik satu derajat. Pada Tabel XIII tercantum kapasitas panas jenis beberapa bahan yang umum.

Andaikan ada benda yang massanya  $m$  dan kapasitas panas jenisnya  $c$ ! Berdasarkan Persamaan (19-2), maka jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhunya dengan  $\Delta t$ , ialah

$$Q = mc\Delta t = mc(t_2 - t_1) \quad (19-3)$$

*Panas jenis* suatu bahan didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitas panas jenis bahan itu dengan kapasitas panas jenis air. Lihatlah kembali definisi satuan panas pada halaman 365! Maka jelaslah bahwa kapasitas panas jenis air ialah 1 kal/gm-C° atau 1 Btu/lb-F°. Jadi, panas jenis suatu bahan secara numerik sama dengan kapasitas panas jenisnya. Akan tetapi karena didefinisikan sebagai perbandingan, maka panas jenis hanyalah berupa bilangan tanpa satuan. Misalnya, kapasitas panas jenis tembaga merah ialah 0,093 kal/gm-C°, sedangkan panas jenisnya ialah 0,093. Perbedaan makna antara panas jenis dengan kapasitas panas jenis ini tidak selalu dipegang teguh. Kerap kali istilah "panas jenis" dikenakan pada kuantitas yang kita definisikan sebagai "kapasitas panas jenis".

TABEL XIII

Bahan	Panas jenis	Selang suhu
Aluminium	0,217	17-100 °C
Kuningan	0,094	15-100 °C
Tembaga merah	0,093	15-100
Gelas	0,199	20-100
Es	0,55	10-0
Besi	0,113	18-100
Timah hitam	0,031	20-100
Air raksa	0,033	0-100
Perak	0,056	15-100

Karena panas jenis itu berupa bilangan tanpa satuan, maka harga numeriknya sama dalam semua sistem satuan. Selanjutnya, karena harga numerik panas jenis sama dengan kapasitas panas jenis, kapasitas panas jenis pun sama dalam semua sistem satuan. Kembali pada contoh di atas, kapasitas panas jenis dari tembaga merah ialah juga 0,093 Btu/lb F°.

Berdasarkan definisi di atas, mudahlah dilihat bahwa kapasitas panas sesuatu benda sama dengan hasil kali massa benda itu dengan kapasitas panas jenisnya.

Ringkasnya disebut bahwa Persamaan (19-2) itu mendefinisikan kapasitas panas jenis *rata-rata* dalam daerah suhu  $\Delta t$ . Tetapi ternyata, daerah selang suhu pada skala itu mempengaruhi jumlah banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu sesuatu bahan sebesar selang suhu yang kecil itu. Kapasitas panas jenis *sesungguhnya* dari suatu bahan pada sembarang suhu didefinisikan berdasarkan Persamaan (19-2) dengan memandang kenaikan suhu kecil tidak terhingga sebesar  $dt$  dan jumlah panas yang diperlukan untuk menimbulkan kenaikan tersebut sama dengan  $dQ$ . Jadi,

$$\text{panas jenis sesungguhnya } c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dt},$$

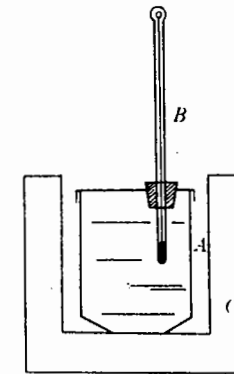
$$dQ = mc dt,$$

$$Q = m \int_{t_1}^{t_2} c dt.$$

Pada umumnya  $c$  itu suatu fungsi dari suhu. Agar dapat menghitung integralnya,  $c$  harus dinyatakan sebagai fungsi dari suhu.

Panas jenis dapat dianggap konstan, asalkan suhunya biasa dan dalam selang suhu yang tidak terlampau besar. Pada suhu yang amat rendah yang mendekati titik nol mutlak, semua panas jenis berkurang dan untuk beberapa bahan tertentu mendekati nol. Harus diperhatikan di sini bahwa kata "kapasitas" dalam "kapasitas panas" artinya tidak sama seperti dalam "kapasitas sebuah ember". Ember dapat menampung air seberapa dapat ditampungnya, sedangkan panas dapat diberikan tanpa batas pada suatu benda, tentu dengan menaikkan suhunya.

Lebih baik kiranya untuk maksud-maksud tertentu, teristimewa pada pembicaraan tentang gas, kapasitas panas jenis dinyatakan berdasarkan berat satu gram-atom daripada berdasarkan berat satu gram. Untuk pertama kali dalam tahun 1819 oleh Dulong dan Petit dikemukakan bahwa kapasitas panas jenis logam-logam, jika dinyatakan secara di atas, semuanya hampir-hampir sama dengan 6 kal/berat gram-atom C°. Hal ini dikenal sebagai *hukum Dulong dan Petit*.



Gambar 19-1. Kalorimeter air.

19-5 Kalorimetri. Kalorimetri berarti pengukuran kuantitas panas. Di sini akan dibicarakan dua macam kalorimeter, yaitu *kalorimeter air* dan *kalorimeter arus kontinu*.

Kalorimeter air dalam bentuknya yang sederhana terdiri dari bejana logam ber dinding tipis  $A$ , (Gambar 19-1), yang sanggup memuat 2 liter. Permukaan luarnya diberi lapisan nikel untuk mengurangi kehilangan panas akibat radiasi (lihat Bab 20). Bejana itu berisi air yang diketahui banyaknya dan mempunyai tutup yang

berlubang untuk dapat memasukkan thermometer  $B$ . Kemungkinan panas hilang dicegah dengan melingkari bejana tersebut dengan bejana lain yang terbuat dari bahan penyekat panas, yaitu bejana  $C$ . Dengan membaca dan mencatat suhu pada thermometer sebelum dan sesudah kepada kalorimeter dimasukkan panas  $Q$  yang tidak diketahui kuantitasnya,  $Q$  ini dapat ditentukan berdasarkan kenaikan suhu yang terjadi.

Cara menggunakan kalorimeter air untuk mengetahui panas-panas jenis ialah seperti berikut: sepotong contoh bahan yang hendak diketahui panas jenisnya dipanasi di dalam suatu tungku atau uap air sampai tercapai suatu suhu yang diketahui tingginya, katakanlah  $t_s$ . Misalkan massa potongan contoh tadi  $m_s$  dan panas jenisnya  $c_s$ .

Air di dalam kalorimeter diaduk-aduk betul lalu diukur suhunya. Contoh bahan kemudian dimasukkan cepat-cepat ke dalam kalorimeter, airnya diaduk-aduk kembali seperti semula lalu suhunya diukur lagi. Misalkan  $t_1$  ialah suhu awal dan  $t_2$  suhu akhir air,  $m_w$  massa air,  $m_c$  massa bejana kalorimeter, dan  $c_c$  panas jenisnya.

Jika selama percobaan tidak ada panas yang hilang dari kalorimeter, maka panas yang diberikan oleh potongan contoh bahan tadi waktu suhunya turun dari  $t_s$  menjadi  $t_2$  harus sama jumlahnya dengan yang diterima oleh air dan bejana kalorimeter. Jadi,

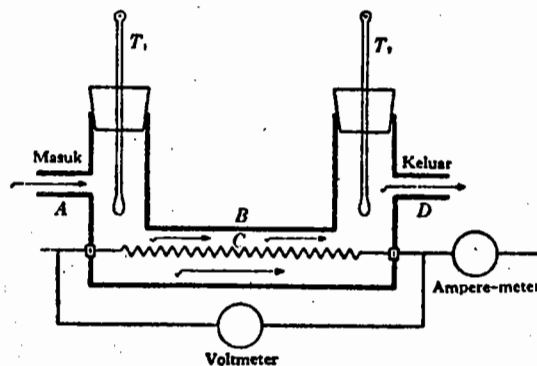
$$\begin{aligned} m_s c_s (t_s - t_2) &= m_w \times 1 (t_2 - t_1) + m_c c_c (t_2 - t_1) \\ &= (m_w + m_c c_c) (t_2 - t_1), \end{aligned}$$

Efek dari kapasitas panas kalorimeter,  $m_c c_c$ , sudah terang ekuivalen dengan penambahan massa air itu sebesar  $m_c c_c$ , dengan mempergunakan kalorimeter yang kapasitas panasnya sama dengan nol. Hasil kali  $m_c c_c$  disebut *harga air* (water equivalent) kalorimeter itu.

Sesungguhnya selama percobaan tadi, kalorimeter akan menerima (atau memberikan) panas dari sekelilingnya, kecuali kalau diadakan pencegahan istimewa. Suatu cara untuk mengurangi pemaparan panas, ialah memulai percobaan dengan suhu kalorimeter yang sedikit di bawah suhu sekelilingnya dan mengakhirinya dengan suhu kalorimeter sedikit di atas suhu sekelilingnya. Maka panas yang diterima selama bagian pertama dari percobaan mengimbangi panas yang hilang pada bagian percobaan yang kedua. Metode lainnya (yang disebut "selimut adiabatik") ialah dengan memanasi bejana penyalubung kalorimeter dengan kumparan pemanas listrik, sampai cepat naik suhunya sama dengan cepat naik suhu kalorimeter. Jika kedua suhu senantiasa sama, tidak akan ada tambahan atau berkurangnya panas kalorimeter.

Perlu diperhatikan, bahwa metode pengukuran panas jenis di atas hanya menghasilkan panas jenis *rata-rata* di dalam daerah suhu  $t_1$  sampai  $t_2$ . Untuk mengukur panas jenis sesungguhnya pada sembarang suhu diperlukan alat yang lebih sempurna konstruksinya.

Kalorimeter *arus kontinu* yang dipergunakan untuk mengukur tara panas-mekanik dapat dilihat pada Gambar 19-2. Arus air yang tidak putus-putus masuk ke dalam alat lewat *A*, mengalir lewat pipa *B* yang mengelilingi kawat tahanan *C* dan meninggalkan alat di *D*. Thermometer  $T_1$  dan  $T_2$  menunjukkan suhu  $t_1$  dan  $t_2$ , yaitu suhu pada tempat masuk dan ke luar. Banyaknya daya listrik yang dipergunakan diukur dengan amperemeter dan voltmeter.



Gambar 19-2. Kalorimeter arus kontinu.

Cara mempergunakan kalorimeter ini seperti berikut. Air mulai dialirkan dan arus listrik ditutup. Tiap-tiap menit misalnya thermometer  $T_1$  dan  $T_2$  dibaca dan suhunya dicatat. Sesudah beberapa waktu, penunjukan kedua thermometer menjadi konstan. Tentu saja suhu  $t_2$  pada tempat keluar lebih tinggi daripada suhu  $t_1$  di tempat masuk. Apabila keadaan ini sudah tercapai, alatnya sendiri tidak mengabsorbir panas lagi, karena suhunya tetap konstan. Jadi tiap-tiap detik-

nya jumlah panas yang dibawa ke luar oleh arus air tepat sama dengan panas yang dihasilkan oleh kumparan pemanas.

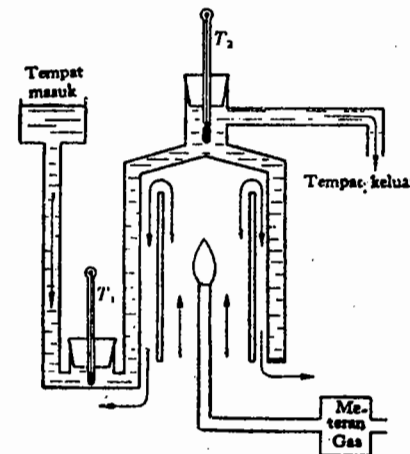
Biasanya air yang keluar ditangkap dengan gelas yang ditempatkan di bawah tempat keluar. Jadi massa air yang keluar selama waktu tertentu dapat diketahui dan jumlah panas yang timbul dapat dihitung berdasarkan kenaikan suhu massa air ini. Pada waktu yang bersamaan dapat pula ditentukan energi yang dimasukkan ke dalam alat, berdasarkan pembacaan pada ampere dan volt meter.

Kalorimeter arus kontinu yang konstruksinya sudah dirubah sedikit digunakan dapat mengukur panas pembakaran gas. Air yang mengalir tidak lagi dipanasi dengan alat listrik, melainkan dengan nyala gas.

19-6 **Panas pembakaran.** Yang dimaksudkan dengan panas pembakaran sesuatu bahan ialah jumlah kalor yang dibebaskan per satuan massa atau per satuan volum, jika bahan itu terbakar sempurna. Panas pembakaran bahan bakar cair atau padat biasanya dinyatakan dengan kal/gm atau Btu/lb. Panas pembakaran gas lazimnya dinyatakan dengan Btu/ft<sup>3</sup>. Pada tabel XIV dapat dilihat beberapa harga di antaranya.

Panas pembakaran bahan bakar padat dan cair diukur dengan *kalorimeter bom*. Bahan bakar yang sudah tertentu massanya dimasukkan ke dalam bom baja yang kuat. Bom ini juga berisikan zat asam di bawah tekanan agak tinggi agar terjamin timbulnya pembakaran yang sempurna. Kemudian bom ini ditempatkan di dalam kalorimeter air, lalu bahan bakar itu dinyalakan dengan arus listrik sejenak lewat suatu kawat pemanas (heater wire) yang halus. Panas pembakaran kemudian dapat dihitung berdasarkan faktor seperti kenaikan suhu, massa air, kesetaraan air kalorimeter dan bom.

Panas pembakaran bahan bakar gas biasanya diukur dengan semacam kalorimeter arus kontinu seperti digambarkan pada Gambar 19-3.



Gambar 19-3. Kalorimeter arus kontinu yang digunakan untuk mengukur panas pembakaran bahan bakar gas.

TABEL XIV  
PANAS PEMBAKARAN

Gas dari arang batu	600 Btu/ft <sup>3</sup>
Gas alam	1000-2500 Btu/ft <sup>3</sup>
Arang batu	11000-14000 Btu/lb
Athyl alkohol	14000 Btu/lb
Minyak bakar (fuel oil)	20000 Btu/lb

19-7 Energi dakhil. Kita dapat memanaskan benda dengan dua cara. Pertama: menempelkannya pada benda lain yang suhunya lebih tinggi; kedua: melakukan usaha mekanik terhadap benda tadi. Misalnya, udara di dalam pompa sepeda menjadi panas, kalau pistonnya kita tekan ke bawah. Tentu saja udara juga dapat menjadi panas dengan menempatkannya di dalam tungku.

Jika seseorang diberi contoh udara yang panas, maka dia tidak mungkin dapat mengatakan, dengan cara penyelidikan yang bagaimanapun, apakah panas itu karena disebabkan usaha mekanik atautkah karena aliran panas yang berasal dari benda yang lebih panas. Hal ini menimbulkan pertanyaan, apakah tepat jika orang berkata "panas di dalam benda", karena keadaan benda yang disaksikannya pada saat itu dapat ditimbulkan baik dengan menambahkan panas pada benda maupun dengan melakukan usaha mekanik terhadap benda tersebut. Pada Bab 20 akan kita tunjukkan, bahwa yang tepat ialah "energi dakhil", dan sebutan, "energi, panas dalam benda" itu tiada berarti.

Dari segi pandangan atomnya energi dakhil sesuatu benda ialah jumlah total dari energi kinetik dan energi potensial atom-atomnya, sedangkan energi kinetik atau potensial benda sebagai satu keutuhan tidak termasuk di dalamnya. Pada waktu ini belumlah banyak yang diketahui tentang struktur atom sesuatu zat yang memungkinkan menyatakan energi dakhil seluruhnya dengan pengertian suatu model atom. Tetapi pada Bab 25, sehubungan dengan model atom sesuatu gas, akan kita jelaskan bagaimana persoalannya. Sebagai perkiraan pertama, energi dakhil sesuatu gas yang tekanannya rendah dapat disamakan dengan energi kinetik total dari atom-atomnya.

Walaupun gambaran yang jelas sekali tentang atom materi belum diketahui seluruhnya, namun kita telah mempunyai bukti yang kuat bahwa energi atom dan kecepatannya baik di dalam zat padat, cairan maupun gas, bertambah jika suhunya naik. Tetapi ucapan seperti "panas dalam sesuatu benda ialah energi gerakan atom-atom benda itu" hendaknya jangan dipergunakan.

#### SOAL-SOAL

19-1. Kita ingin memanaskan 40 gallon air dari  $50^{\circ}\text{F}$  menjadi  $150^{\circ}\text{F}$ . Berapakah arang batu yang harus dibakar untuk maksud ini, dinyatakan dengan  $\text{ft}^3$ , jika panas yang hilang tiada berguna ialah 25%? ( $1\text{ ft}^3 = 7,5\text{ gallon}$ ).

19-2 Sebuah mesin Diesel mempergunakan 20 lb bahan bakar berupa minyak dalam tiap jamnya. Panas pembakaran minyak itu ialah 20.000 Btu/lb. Jika rendemen rata-rata dari mesin itu 30%, (a) berapakah Btu/jam yang dirubah menjadi usaha mekanik? (b) Berapa Btu yang lenyap tiada berguna? Berapa daya kudakah yang dihasilkan oleh mesin itu?

19-3. Sebuah otomobil beratnya 2000 lb dan bergerak dengan kecepatan 100 ft

sec, lalu direm sampai berhenti. Berapa Btu-kah yang timbul di dalam rem?

19-4. Sebuah mesin listrik pemakaiannya 0,5 kw daya listrik dan mengeluarkan daya mekanik sebesar 0,54 dk. (a) Berapakah rendemen motor itu? (b) Andaikan motor itu dijalankan selama satu jam, berapa Btu-kah yang timbul di dalamnya?

19-5. Bejana dari tembaga merah, massanya 200 gm mengandung 400 gm air. Air itu dipanaskan dengan alat geseran yang mempergunakan energi mekanik. Dari pengamatan ternyata, bahwa suhu sistem itu naik  $3^{\circ}\text{C}$  tiap-tiap menitnya. Abaikanlah kehilangan panas karena keadaan sekelilingnya. Berapakah daya yang dipergunakan oleh sistem itu, dinyatakan dengan watt?

19-6. Andaikan suhu satu mil kubik air laut diturunkan  $1^{\circ}\text{C}$ , dan panas yang menjadi bebas digunakan untuk menggerakkan motor dari 2000 dk. Untuk berapa lamakah mesin ini dapat digerakkan, jika semua panas dapat dirubah menjadi energi mekanik? Mengapa kita tidak mempergunakan persediaan energi yang sebesar ini?

19-7. Sebutir peluru dari timah hitam, massanya 5 gm, bergerak dengan energi kinetik sebanyak 12,6 joule. Peluru mengenai sasarnya dan berhenti. Suhu peluru ini akan naik dengan berapa derajatkah, jika semua panas yang timbul itu hanya digunakan oleh peluru tersebut?

19-8. Hitunglah kapasitas panas satu gram-atom Al, Cu, Pb, Hg dan Ag berdasarkan tabel XIII. Bandingkanlah hasilnya dengan yang digambarkan oleh hukum Dulong dan Pettit.

19-9. Bandingkanlah kapasitas panas tembaga merah dan timah hitam, untuk volum yang sama!

19-10. Sebuah bejana dari aluminium massanya, 500 gm, mengandung  $117,5^{\circ}\text{C}$  air yang suhunya  $20^{\circ}\text{C}$ . Kemudian dimasukkan ke dalamnya sepotong besi yang massanya 200 gm dan suhunya  $75^{\circ}\text{C}$ . (a) Tentukanlah suhu akhir, dengan anggapan bahwa tidak ada panas yang hilang karena keadaan sekelilingnya. (b) Berapakah kapasitas panas dari kalorimeter itu?

19-11. Sepotong besi yang beratnya 30 lb diambil dari dalam tungku dan dimasukkan ke dalam tangki yang berisi 100 lb minyak yang suhunya  $72^{\circ}\text{F}$ . Suhu minyak menjadi  $116^{\circ}\text{F}$ . Panas jenis minyak 0,45. Abaikanlah kapasitas panas tangki dan kehilangan panas ke selilingnya. Tentukanlah suhu tungku!

19-12 Sebuah benda dari besi ringan beratnya 100 lb. Benda ini diambil dari dalam tungku yang suhunya  $90^{\circ}\text{F}$ , lalu

dimasukkan ke dalam tangki yang berisi 800 lb minyak yang suhunya  $80^{\circ}\text{F}$ . Suhu akhir menjadi  $100^{\circ}\text{F}$ , sedangkan panas jenis minyak 0,5. Berapakah panas jenis minyak benda tadi? Abaikanlah kapasitas panas tangki dan semua kehilangan panas!

19-13. Kapasitas panas jenis sesuatu zat ditentukan oleh rumus empiris  $c = a + bt^2$ .  $a$  dan  $b$  itu bilangan konstan, sedangkan  $t$  ialah suhu dengan derajat Celsius. (a) Hitunglah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu massa zat itu sebanyak  $m$  dari  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi  $t^{\circ}\text{C}$ ? (b) Berapakah panas jenis rata-rata zat itu di dalam daerah suhu  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $t^{\circ}\text{C}$ ? (c) Bandingkanlah hasil ini dengan panas jenis sesungguhnya pada suhu yang terletak di tengah-tengah antara  $0^{\circ}\text{C}$  dengan  $t^{\circ}\text{C}$ ?

19-14. Pada suhu yang rendah sekali dekat titik nol mutlak, panas jenis zat padat ditentukan oleh persamaan Debye  $c = kT^3$ ,  $T$  ialah suhu Kelvin atau suhu mutlak dan  $k$  ialah bilangan konstan, berlainan harganya dari zat ke zat (a) Hitunglah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu yang massa  $m$  zat padat itu dari  $0^{\circ}\text{K}$  menjadi  $10^{\circ}\text{K}$ . (b) Hitunglah panas jenis rata-ratanya di antara  $0^{\circ}\text{K}$  dengan  $10^{\circ}\text{K}$ . (c) Hitunglah panas jenis sesungguhnya pada  $10^{\circ}\text{K}$ !

19-15. Luas penampang sebuah silinder baja ialah  $0,1\text{ ft}^2$ . Silinder itu berisi  $0,4\text{ ft}^3$  glycerin dan mempunyai piston yang dapat menutup erat-erat. Di atas penghisap ini di tempatkan beban 6000 lb. Silinder lalu dipanaskan dari  $60^{\circ}\text{F}$  menjadi  $160^{\circ}\text{F}$ . Abaikanlah pemuaihan silinder baja itu. Tentukanlah (a) tambahan volum glycerin, (b) usaha mekanik terhadap gaya 6000 lb tadi yang dilakukan oleh glycerin, (c) panas yang ditambahkan pada glycerin (panas jenis glycerin = 0,58), (d) perubahan energi dakhil glycerin (yaitu, tara panas mekanik panas yang ditambahkan, dikurangi usaha yang dilakukan).

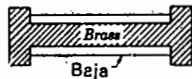
30° C. (Abaikanlah pengaruh ruji-rujinya). Jika suhu menjadi 15° C berapa detikkah kesalahannya tiap-tiap hari? Jam ini menjadi lebih tepat atau lebih lambatkah?

18-13. Pada 20° C sebuah botol diisi penuh dengan air raksa dapat memuat 680 gm air raksa. Seluruhnya lalu dipanaskan hingga 100° C. Berapakah air raksa yang tumpah? Koefisien muai panjang gelas  $8 \times 10^{-6}$  per C°.

18-14. Sebuah batang baja yang langsing berayun sebagai ayunan fisis terhadap sumbu mendatar yang lewat satu ujungnya. Jika panjang batang pada 30° C ialah 8 ft, maka hitunglah perubahan periodenya jika suhu turun menjadi 0° C?

18-15. Pada 20° C suatu batang baja luas penampangnya  $1,5 \text{ cm}^2$  dan panjangnya 70 cm. Lalu dipanaskan hingga 520° C, kemudian didinginkan lagi menjadi 20° C, tanpa diperbolehkan untuk menyusut. Hitunglah stress di dalam batang itu!

18-16. Luas penampang sebuah batang baja  $1,5 \text{ in}^2$ . Berapa gaya yang sekecil-kecilnya untuk menahan agar jangan sampai ada penyusutan pada waktu didinginkan dari 250° C menjadi 20° C?



Gambar 18-9.

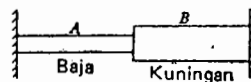
18-17. Suatu batang kuningan yang berat mempunyai bagian-bagian yang menonjol keluar, seperti Gambar 18-9. Dua helai kawat baja halus direntangkan di antara bagian yang menonjol itu. Keadaan kedua kawat tepat lurus (tegangan nol), jika seluruh sistem suhunya 0° C. Berapakah stress regangan di dalam kawat baja jika seluruh sistem suhunya dijadikan 300° C? Buatlah permisalan-permisalan yang dapat memudahkan masalah ini yang kiranya diperbolehkan, tetapi nyatakanlah permisalan-permisalan itu?

18-18. Berapakah tekanan hidrostatik yang diperlukan untuk menahan balok dari tembaga merah agar jangan sampai mengembang jika suhunya dinaikkan dari 20° C menjadi 30° C?

18-19. Sebuah bom dari baja pada 10° C diisi dengan air sampai penuh. Seluruhnya lalu dipanasi menjadi 75° C serta dijaga jangan sampai air dapat keluar. Hitunglah tambahan tekanan di dalam bom ini! Anggaph bom itu demikian kuatnya, hingga tidak mengembang karena akibat tambahan tekanan tadi!

18-20. Rel-rel kereta api dari baja yang panjangnya 60 ft dipasangkan pada suatu hari dalam musim dingin ketika suhu 20° F. (a). Berapakah jarak antara dua buah rel agar pada suatu hari dalam musim panas yang suhunya 110° F rel-rel itu tepat dapat bersinggungan? (b). Jika pada waktu memasang itu tidak diberi jarak antara, maka berapakah tegangan yang akan timbul di dalam rel jika suhu 110° F?

18-21. Sejumlah zat cair ditempatkan di dalam silinder logam yang ada pistonnya terbuat dari logam itu pula. Pada permulaan, sistem ini menderita tekanan atmosfer dan suhunya 80° C. Piston itu didesak masuk, hingga tekanan pada zat cair bertambah dengan 100 atmosfer, piston dikunci lalu dimatikan. Tentukanlah suatu suhu baru yang menyebabkan tekanan di dalam zat cair menjadi 1 atmosfer lagi! Misalkan silinder itu demikian kuatnya hingga volumenya tidak akan berubah karena akibat tambahan tekanan, jadi hanya berubah jika suhunya berubah. Kompresibilitas zat cair ( $K$ ) =  $50 \times 10^{-6} \text{ atm}^{-1}$ . Koefisien muai ruang zat cair ( $\beta$ ) =  $5,3 \times 10^{-4} (\text{°C})^{-1}$ . Koefisien muai panjang logam ( $\alpha$ ) =  $10 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$ .



Gambar 18-10.

18-22. Batang baja A yang luas penampangnya  $1 \text{ in}^2$  dan batang kuningan B yang luas penampangnya  $2 \text{ in}^2$ , pada 0° C masing-masing panjangnya tepat 20 cm. Batang-batang ditempatkan bertemu ujung di antara dua dinding dengan jarak antara 40 cm. Jika suhu dijadikan 200° C, tentukanlah tegangan di dalam masing-masing batang, jika jarak antara kedua dinding tidak berubah (lihat Gambar 18-10).

18-23. Suatu batang baja panjang 40 cm dan batang tembaga merah yang panjangnya

36 cm, keduanya diameternya sama, ditempatkan bertemu ujung di antara dua dinding yang teguh. Pada permulaan di dalam kedua batang tidak ada tegangannya. Suhu kedua batang dinaikkan dengan 50° C. Berapakah stress di dalam salah satu batang itu?