

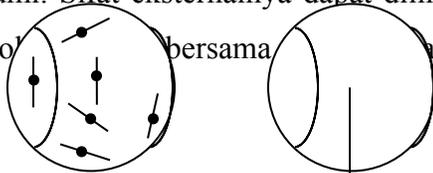


ENERGI TERMAL

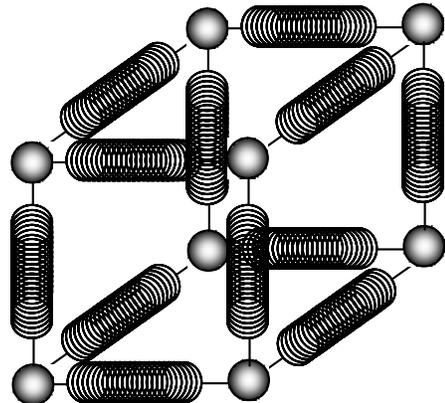
Meskipun pengaruh panasnya api telah diketahui sejak zaman prasejarah, tetapi baru pada awal abad ke-18 para ilmuwan mengetahui dan memahami bagaimana sebuah benda panas dibedakan dengan benda yang dingin. Teori kalorik dapat menjelaskan pengembangan sebuah benda ketika dipanaskan, sayang teori tersebut belum dapat menjelaskan mengapa tangan menjadi hangat saat digosokkan beresama-sama.

Pada pertengahan abad ke-19, ilmuwan mengembangkan sebuah teori baru untuk mengganti teori kalorik. Teori ini didasarkan pada asumsi bahwa benda (zat) terbuat dari partikel-partikel yang sangat kecil dan selalu bergerak. Pada benda yang panas, partikel-partikel tersebut bergerak. Partikel-partikel tersebut lebih cepat bergeser daripada partikel pada benda yang dingin. Dengan demikian, partikel-partikel yang ada pada benda yang panas memiliki energi yang lebih besar. Teori ini dikenal dengan nama *teori kinetik-molekuler*.

Teori kinetik sukar untuk digambarkan karena ukuran sebuah partikel yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat. Sebuah bola yang dilempakan (gambar 1) memiliki energi kinetik yang bergantung pada kecepatan dan energi potensial yang bergantung pada ketinggiannya di atas permukaan Bumi. Sifat eksternalnya dapat dilihat dengan mudah. Namun, partikel-partikel penyusun bola tersebut bergerak bersama-sama. Gerakan ini tidak dapat diamati dari luar.



Model dari sebuah benda padat (gambar 2) mungkin dapat membantu anda memahami teori kinetik. Gambar model zat padat ter yang tersusun atas partikel-partikel bulat yang bermassa. Pegas-pegas tersebut merepresentasikan gaya tarik-menarik antar partikel. Partikel-partikel pada benda padat, sehingga berbentuk padat. Partikel-partikel tersebut bergetar sehingga memiliki energi kinetik. Getaran partikel-partikel pada pegas, sehingga zat padat memiliki energi potensial.



Gambar 2

potensial yang dihasilkan oleh gerakan dalam zat disebut energi dalam atau energi termal sebuah benda.

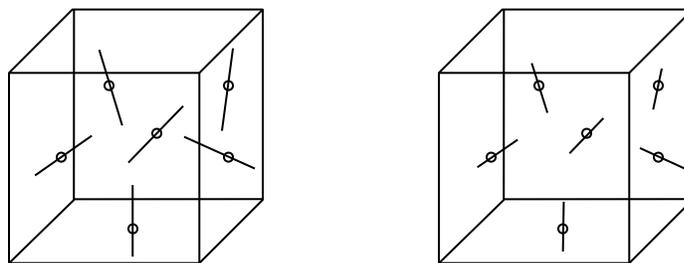
Transfer energi dalam

Energi dalam ditransfer melalui tiga cara, konduksi, yang kebanyakan terjadi pada benda padat, melibatkan transfer energi kinetik ketika partikel-partikel sebuah benda saling menumbuk. Prinsip ini terjadi pada termometer suhu tubuh.

Gerakan zat alir yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan mentransfer kalor dengancara konveksi. Arus konveksi yang terjadi di atmosfer meruakan peristiwa yang bertanggung jawab terhadap perubahan cuaca. Baik konduksi maupun konveksi bergantung pada ada tidaknya zat yang terlibat pada proses transfer. Cara yang ketiga, radiasi, tidak demikian. Energi termal dapat ditransfer melalui ruang angkasa dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Energi matahari ditransfer menuju Bumi melalui radiasi.

Suhu dan energi termal

Sesuai dengan teori kinetik-molekuler, sebuah benda panas memiliki energi termal yang lebih besar daripada benda yang dingin dalam ukuran yang sama, gambar 3.



Hal ini berarti bahwa secara keseluruhan partikel-partikel dalam benda yang panas memiliki energi kinetik dan energi potensial lebih besar daripada benda yang lebih dingin. Hal ini tidak berarti bahwa seluruh partikel dalam benda memiliki energi yang sama. Partikel-partikel tersebut memiliki jangkauan energi, beberapa tinggi, beberapa lainnya rendah. Dengan demikian, energi rata-rata dari partikel dalam benda yang panas lebih tinggi daripada benda yang dingin. Untuk membantu anda memahami hal ini, tinjau tinggi siswa di kelas 6. Tinggi mereka bermacam-macam, tetapi anda dapat mengetahui tinggi rata-ratanya. Tinggi rata-rata siswa kelas 6 akan lebih besar daripada tinggi rata-rata siswa di kelas 4, meskipun beberapa siswa kelas 4 mungkin lebih tinggi daripada siswa kelas 6.

Mengukur derajat panas

Bagaimana kita dapat mengukur “kepanasan” dari sebuah benda? Panas/kepanasan, diukur menggunakan skala tertentu adalah sebuah sifat dari sebuah benda yang dinamakan suhu (temperatur). Pada benda yang lebih panas, partikel-partikel bergerak dengan lebih cepat, sehingga memiliki energi kinetik rata-rata lebih besar.

Untuk benda-benda tertentu, suhunya tidak bergantung pada jumlah partikel pada sebuah benda. Jika satu kilogram besi bersuhu sama dengan dua kilogram besi, maka energi kinetik rata-rata untuk kedua benda tersebut sama. Namun, jumlah total energi kinetik partikel dalam besi bermassa 2 kilogram, dua kali lebih besar daripada besi bermassa 1 kilogram. Energi termal dari sebuah benda sebanding dengan jumlah partikel, tetapi tidak pada suhunya.

Kesetimbangan termal

Anda sudah terbiasa dengan gagasan pengukuran suhu. Katakan saja anda sedang demam—mudah-mudahan tidak terjadi. Anda lalu mengukur suhu tubuh anda. Anda mungkin tidak terlalu mengenal proses mikroskopik yang terjadi ketika anda mengukur temperatur. Tubuh anda lebih panas dibandingkan termometer, yang berarti bahwa tubuh anda memiliki energi termal lebih tinggi daripada termometer. Termometer terbuat dari tabung kaca. Ketika gelas yang dingin menyentuh tubuh anda yang panas, partikel-partikel di tubuh anda menumbuk partikel kaca. Tumbukan ini menghasilkan transfer

energi menuju partikel kaca melalui konduksi. Energi termal partikel-partikel yang menyusun termometer lalu meningkat. Saat partikel-partikel dalam kaca menjadi memiliki energi lebih tinggi dari semula, partikel-partikel tersebut kembali mentransfer energi menuju tubuh anda. Pada suatu ketika, laju transfer energi maju dan mundur antara kaca dan tubuh anda sama. Tubuh anda dan termometer berada dalam *kesetimbangan termal*. Hal ini berarti bahwa laju transfer energi dari tubuh menuju kaca sama dengan laju transfer energi dari kaca menuju tubuh.

Kalor dan energi termal

Salah satu cara untuk meningkatkan suhu suatu benda adalah dengan menyentuhkannya dengan benda yang lebih panas. Energi termal benda yang lebih panas lalu turun, dan energi termal benda yang dingin naik. Energi mengalir dari benda yang lebih panas ke benda yang lebih dingin. *Kalor* adalah energi yang mengalir sebagai hasil dari perbedaan suhu. Kita akan menggunakan simbol Q untuk kalor. Sebagaimana bentuk energi lainnya kalor diukur dalam joule.

Ketika kalor mengalir ke dalam sebuah benda, energi dalamnya meningkat, juga suhunya. Jumlah kenaikannya bergantung pada ukuran benda dan bahan yang menyusun benda.

Kalor jenis sebuah benda adalah jumlah energi yang harus ditambahkan untuk menaikkan suhu benda dengan satu satuan massa sebesar satu satuan suhu. Dalam satuan SI, kalor jenis c dinyatakan dalam J/kg K. Sebagai contoh, 903 J harus ditambahkan pada 1 kilogram aluminium untuk meningkatkan suhu aluminium satu Kelvin. Kalor jenisnya sama dengan 903 J/kg K.

Kalor jenis dapat digunakan untuk menghitung jumlah kalor yang harus ditransfer untuk mengubah suhu benda bermassa. Kalor jenis air adalah 4.180 J/kg K. Ketika temperatur satu kilogram air naik 1 Kelvin, kalor yang diserap air sama dengan 4.180 J. Jika temperatur 10 kilogram air naik 5 K, kalor yang diserap, Q adalah:

$$\begin{aligned} Q &= (10 \text{ kg}) (4.180 \text{ J/kg K})(5,0 \text{ K}) \\ &= 210.000 \text{ joule} \end{aligned}$$

Kalor yang diperoleh atau dilepas oleh sebuah benda berubah bergantung pada massa, perubahan temperatur, dan kalor jenis. Hubungannya dapat ditulis sebagai,

$$Q = mct$$

dimana

Q = kalor yang dilepas atau diperoleh

m = massa benda

c = kalor jenis

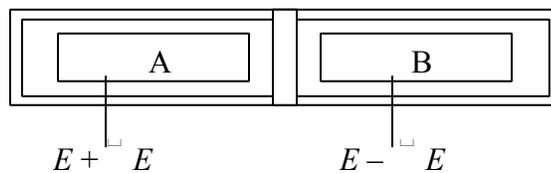
t perubahan suhu

Kalorimeter

Kalorimeter adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur perubahan energi termal. Sebuah benda bermassa (massanya diketahui) yang dipanaskan pada suhu tertentu dimasukkan dalam kalorimeter. Dari penambahan temperatur air, perubahan energi termal dari benda dapat dihitung.

Kalorimeter bergantung pada konservasi energi (kekekalan energi) dalam sistem tertutup. Energi tidak dapat masuk dan keluar dari sistem yang terisolasi. Kalorimeter diisolasi dengan hati-hati sehingga transfer kalor ke dalam dan keluar sangat kecil. Hasilnya, energi di satu bagian naik, dan di bagian lain turun.

Tinjau sebuah sistem yang terdiri dari dua balok logam, balok A dan balok B,



Karena sistem terisolasi, maka total energinya konstan,

$$E_{AB} \text{ konstan}$$

Anggap dua balok pada awalnya terpisah tetapi dapat disentuh. Jika energi termal balok A berubah sejumlah ΔE_A , maka perubahan energi termal balok B, ΔE_B .

Sehingga,

$$\Delta E_B = 0$$

Perubahan energi salah satu balok positif, sementara perubahan energi balok yang lainnya negatif. Jika perubahan energi termal balok positif, maka suhu balok naik. Jika perubahan energinya negatif maka temperaturnya turun.

Anggap suhu awal dua balok tersebut berbeda. Ketika balok disentuh, kalor mengalir dari balok yang panas menuju balok yang dingin. Sistem selanjutnya benda pada kesetimbangan termal.

Peningkatan energi termal balok A sama dengan penurunan energi termal balok B. Dengan demikian,

$$\Delta E_A = -\Delta E_B$$

Perubahan suhu adalah perbedaan antara suhu akhir dengan suhu awal, ΔT . Jika suhu balok naik, maka ΔT positif, jika suhu balok turun maka ΔT negatif.

Suhu akhir dari kedua balok sama. Persamaan transfer energinya,

$$m_A c_A \Delta T_A = -m_B c_B \Delta T_B$$

pecahkan ΔT ,
 $\Delta T = \frac{m_A c_A \Delta T_A}{-m_B c_B}$

kumpulkan ΔT dan bawa suku yang ada suhu awal ke ruas kanan,
 $\Delta T = \frac{m_A c_A (T_f - T_{A,i})}{-m_B c_B}$

$$\Delta T = \frac{m_A c_A (T_f - T_{A,i})}{-m_B c_B}$$

Perubahan Wujud dan Hukum Termodinamika

Ketika menggosokkan kedua telapan tangan anda satu sama lain, anda berarti sedang mengerjakan sebuah gaya dan menggerakkan tangan anda menempuh jarak tertentu. Anda melakukan sebuah kerja untuk melawan gesekan. Tangan anda bergerak dari keadaan diam dan berhenti sehingga tidak ada perubahan energi kinetik. Kedudukan tangan tersebut tidak berubah terhadap bumi sehingga tidak ada perubahan energi potensial. Hukum kekekalan energi menyatakan: Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, energi hanya dapat diubah ke alam bentuk lain. Energi yang ditransfer oleh kerja yang anda lakukan pastilah pergi ke suatu tempat. Anda akan menemukan bahwa tangan anda menjadi hangat atau dengan kata lain suhunya naik. Energinya sekarang berbentuk energi termal atau energi panas. Cabang ilmu fisika yang mempelajari tentang sifat-sifat energi panas atau energi termal disebut dengan termodinamika.

Perubahan wujud

Tiga buah wujud zat yang dikenal secara umum adalah padat, cair, dan gas. Ketika sebuah zat padat dipanaskan, zat tersebut akan berubah menjadi zat cair. Jika suhunya terus ditingkatkan, maka zat cair tersebut akan menjadi zat gas. Bagaimanakah kita dapat menjelaskan perubahan wujud ini? Kita telah memiliki sebuah model sederhana sebuah zat padat yang terdiri dari partikel kecil yang diikat oleh pegas (lihat gambar 2). Pegas tersebut menggambarkan gaya elektromagnetik antara partikel yang satu dengan yang lainnya. Ketika energi termal padatan tersebut naik, energi kinetik dan energi potensial partikel juga naik.

Pada suhu yang cukup panas, gaya antara partikel yang satu dengan yang lainnya tidak dapat menahan partikel-partikel tersebut untuk tetap diam. Partikel masih saling menyentuh, tetapi kedua partikel tersebut lebih bebas bergerak. Saat inilah zat padat berubah menjadi zat cair. Suhu saat perubahan wujud ini terjadi disebut dengan **titik lebur**.

Saat zat padat melebur, energi yang ditambahkan meningkatkan energi potensial dan energi kinetik partikel. Peningkatan energi potensial dan energi kinetik partikel digunakan untuk memutuskan ikatan antara partikel yang satu dengan yang lainnya. Penambahan energi ini tidak meningkatkan suhu.

Jumlah energi yang diperlukan untuk meleburkan satu kilogram zat disebut dengan **kalor lebur** sebuah zat. Sebagai contoh, kalor lebur es $3,34 \times 10^5$ J/kg. Jika 1 kg es berada di titik leburnya yakni 273 K atau 0°C , es tersebut akan menyerap $3,34 \times 10^5$ J dan menjadi 1 kg air pada suhu yang sama yakni 0°C . Penambahan energi ini akan mengubah wujudnya tetapi tidak suhunya.

Setelah seluruh zat melebur, energi termal yang terus ditambahkan akan menaikkan suhu zat. Jika energi termal terus ditambahkan, maka energi kinetik dan potensialnya pun membesar. Saat energi termal semakin besar, beberapa ikatan antara partikel zat cair akan semakin renggang dan putus. Pada suhu tertentu, cairan itu akan mendidih dan mencapai sebuah suhu yang disebut dengan **titik didih**. Tambahan energi akan menyebabkan perubahan wujud. Penambahan energi itu tidak menambah suhunya. Penambahan energi itu akan mengubah wujud zat cair menjadi uap air atau gas. Pada tekanan ormal, air mendidih pada suhu 100°C . Jumlah energi yang diperlukan untuk menguapkan satu kilogram zat cair disebut **kalor uap**. Untuk air, kalr uapnya adalah $2,26 \times 10^6$ J/kg. Masing-masing zat memiliki kalor uap yang berbeda-beda tergantung jenis zatnya.

Kalor, Q , yang diperlukan untuk meleburkan sebuah padatan dengan massa m dapat dihitung menggunakan,

$$Q = mH_f$$

dimana:

Q = kalor yang diperlukan

m = massa yang dileburkan

H_f = Kalor lebur, indeks f menyatakan *fusion* (lebur)

Sedangkan kalor yang diperlukan untuk menguapkan cairan dengan massa m dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$Q = mH_v$$

dimana:

Q = kalor yang diperlukan

m = massa yang diuapkan

H_v = Kalor uap, indeks v menyatakan *vapour* (uap air)

Contoh

Jika energi sebesar 5×10^3 J ditambahkan ke sejumlah air dengan suhu 273 K, berapa banyak es yang melebur?

Jawaban:

- Kalor yang ditambahkan:

$$Q = 5 \times 10^3 \text{ J}$$

- Kalor lebur (tidak perlu dihafal, selalu diberikan di soal)

$$H_f = 3,34 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

- $Q = mH_f$

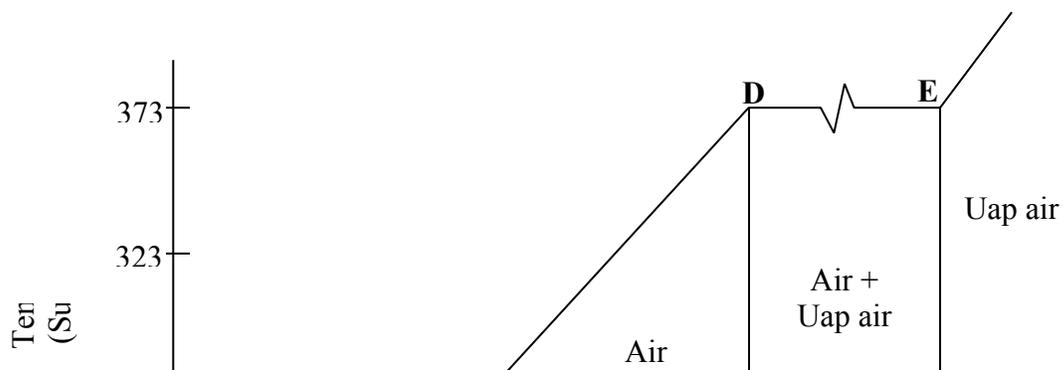
—

$$3,34 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

—————

$$0,015 \text{ kg}$$

Gambar di bawah menunjukkan perubahan temperatur saat energi termal ditambahkan pada 1 gram H_2O pada suhu 243 K. Antara titik A dan titik B, es dipanaskan sehingga suhunya 273 K. Jarak mendatar dari titik B menuju titik C menunjukkan **kalor lebur**. Antara titik C dan D, suhu air naik. Kemiringan C–D lebih kecil daripada kemiringan A–B menunjukkan bahwa kalor jenis air lebih tinggi daripada kalor jenis es. Antara titik D dan E, air mendidih lalu menjadi uap air. Jarak dari titik D menuju titik E menunjukkan **kalor uap**. Dan seterusnya.



B **C**

A

Antara titik $A-B$ gunakan $Q = mH_f$

Antara titik $B-C$ gunakan $Q = mH_f$

Antara titik $C-D$ gunakan $Q = mH_v$

Antara titik $C-D$ gunakan $Q = mH_v$

Sumber:

Davids, Mark., Neff, Robert., Wedding, Kelly., Zitzewitz, Paul. (1995). *Merril Physical Science Teacher Wraparound Edition*. New York: GLENCOE McGraw-Hill.