

TERJEMAHAN

TERMODINAMIKA

Semua makhluk hidup melakukan pekerjaan. Tumbuh-tumbuhan melakukan pekerjaan ketika mengangkat air dari akar ke cabang-cabang, hewan melakukan pekerjaan ketika berenang, merayap, dan terbang. Kerja juga terjadi ketika pemompaan darah melalui pembuluh darah dalam tubuh (bagian 7.5) dan pada pemompaan ion-ion melewati dinding sel (bagian 17.5). Semua kerja ini diperoleh dari pengeluaran energy kimia yang disimpan dalam makanan yang dikonsumsi oleh makhluk hidup.

Termodinamika adalah kajian mengenai hubungan, panas, kerja, dan energy dan secara khusus perubahan panas menjadi kerja. Hukum termodinamika pertama dan kedua dirumuskan pada abad ke-19 oleh para ilmuwan mengenai peningkatan efisiensi mesin uap. Bagaimanapun hukum ini merupakan dasar seperti hukum fisika lainnya. Mereka membatasi efisiensi amuba atau ikan paus seperti mereka membatasi efisiensi mobil atau tenaga nuklir tumbuhan.

11.1 Keadaan Termodinamika

Dengan menganggap sejumlah tertentu gas terkandung dalam sebuah silinder yang disusun dengan piston dan thermometer, seperti ditunjukkan pada gambar 11.1. Dengan menggerakkan piston dan memanaskan atau mendinginkan silinder, tekanan P , volume V , dan suhu T dapat diubah. Keadaan termodinamika gas ditentukan dengan memberikan nilai dari variable-variable termodinamika P , V dan T . Jika variable-variable ini dihubungkan oleh persamaan (persamaan 8.9)

$$PV=nRT$$

Dimana n adalah jumlah mol gas dan $R=8,314 \text{ J/K}$ adalah tetapan gas (table 8.1). Persamaan ini menunjukkan bahwa jika dua variable diketahui, variable ketiga dapat ditentukan. Hal ini berarti hanya dua variable yang diperlukan untuk menentukan keadaan, karena ketiga dapat ditemukan dari persamaan 11.1. Bahkan jika gas tidak ideal, hanya dua variable yang diperlukan, karena terdapat persamaan keadaan yang berhubungan dengan variable-variable ini. Tentu saja persamaan keadaan gas tidak ideal lebih rumit dari persamaan 11.1.

Jika P dan V dipilih untuk menentukan keadaan, keadaan ditunjukkan oleh titik pada grafik P terhadap V (gambar 11.2). Sebagai contoh, Keadaan A dengan tekanan P_A dan Volume V_A ditunjukkan oleh titik A pada gambar 11.2. Temperatur (suhu) dari keadaan ini ditentukan dari persamaan keadaan.

Semua keadaan dengan suhu yang sama terletak pada kurva disebut isotherm. Gambar 11.2 menunjukkan beberapa isotherm untuk suhu yang berbeda: suhu dari isotherm tertentu lebih tinggi dari suhu semua isotherm yang terletak dibawahnya dan lebih rendah dari suhu semua

isotherm yang terletak di atasnya. Pada suhu yang tinggi isotherm merupakan kurva yang halus yang ditunjukkan oleh persamaan 11.1, tetapi pada temperatur rendah bentuk isotherm lebih kompleks karena gas tidak lagi ideal. Hal ini didiskusikan secara lengkap pada bagian 8.5.

Zat seperti gas dalam silinder pada gambar 11.1 berada pada keadaan termodinamik jika suhu dan tekannya sama pada semua zat. Kita tahu dari hukum pascal (sifat fluida, bagian 7.2) bahwa tekanan sama dimana pun jika gas dalam keadaan diam tetapi tekanan berbeda dari titik ke titik jika gas bergerak. Sebagai contoh, andaikan volume gas meningkat dengan menggerakkan piston. Gas akan mengalir menjadi volume yang baru, dan untuk beberapa waktu system tidak akan berada pada kesetimbangan mekanik karena gerakan turbulen gas. Sama halnya dengan gas jika dipanaskan dari bawah, system tidak akan berada pada kesetimbangan termal karena bagian yang berbeda dari gas berada pada suhu yang berbeda.

Sistem kesetimbangan mekanik dan kesetimbangan termal dikatakan Nerada pada kesetimbangan termodinamik. Hanya system dalam keadaan kesetimbangan termodinamik yang pasti berada pada keadaan termodinamik dan dapat ditunjukkan pada diagram PV. Keadaan termodinamik sama dengan keadaan kesetimbangan.

Jika keadaan system diubah, seperti menggerakkan piston atau memanaskan silinder, system tidak berada pada kesetimbangan untuk beberapa waktu. Sebagai contoh, andaikan gas dalam keadaan A (gambar 11.3) dan volumenya meningkat dari V_A menjadi V_B . Setelah beberapa waktu, gas tetap berada pada keadaan kesetimbangan B, tetapi selama transisi dari A ke B gas tidak dalam kesetimbangan, jadi hal ini tidak ditunjukkan oleh titik pada diagram. Ini merupakan perubahan Irreversibel, ditunjukkan dengan gambar garis putus-putus antara A dan B.

Di sisi lain, volume dan suhu gas dapat di ubah dengan sangat lambat, yang membuat gas selalu berada pada kesetimbangan. Kemudian, pada setiap tahap perubahan dari satu keadaan ke keadaan lain, system berada pada keadaan termodinamik, dan keseluruhan proses dapat ditunjukkan oleh garis penuh yang menghubungkan keadaan awal dan keadaan akhir dan melewati keadaan intermediet. Hal ini disebut perubahan reversible karena system dapat berubah dari keadaan akhir kembali ke keadaan awal melalui keadaan intermediet yang sama. Setiap bilangan tak terhingga dari garis dapat digambarkan antara dua keadaan yang menunjukkan perubahan reversible yang berbeda.

Pada perubahan adiabatik tidak ada panas yang dapat masuk atau keluar dari system. Hal ini karena dikelilingi oleh silinder dengan bahan-bahan penyekat seperti asbes atau streafoam (gambar 11.4a). Jika gas ideal di kembangkan secara adiabatik, suhu dan tekanan menurun. Sistem tersebut ditunjukkan oleh garis penuh AB pada gambar 11.3

Pada perubahan isothermal suhu dipertahankan agar konstan (tetap). Hal ini dilakukan dengan menempatkan silinder yang dihubungkan dengan sumber air pada suhu yang di inginkan

(gambar 11.4b). Silinder mempunyai dinding yang tipis yang terbuat dari bahan yang dapat menghantarkan panas, misalnya tembaga, sehingga panas dengan mudah mengalir secara bolak-balik antara sumber air dan gas. Sumber air cukup besar dengan suhu yang tidak dapat dipengaruhi oleh jumlah perubahan panas dan gas. Selama ekspansi isothermal, panas mengalir ke gas untuk menjaga suhu agar konstan (ingat, suhu gas menurun jika panas terhalangi untuk mengalir ke gas selama ekspansi terjadi). Sistem yang mengikuti keadaan isotherm terjadi dari keadaan awal A ke keadaan Akhir B' (gambar 11.3)

Pada perubahan isokhorik volume system dipertahankan agar konstan. Hal ini dilakukan dengan mengapit piston pada posisi tertentu. Keadaan gas diubah dengan memanaskan gas (gambar 11.4c). Ketika piston dipasang, tidak ada kerja yang dilakukan oleh system selama terjadi perubahan. Sistem mengikuti garis AA' pada gambar 11.3.

Pada perubahan isobaric, tekanan system diertahankan pada tekanan tertentu. Hal ini dilakukan dengan menggunakan tekanan konstan eksternal ke piston (gambar 11.4d). Keadaan gas diubah dengan memanskan ga. sistem tersebut mengikuti garis AB'' pada gambar 11.3

Terdapat perubahan-perubahan lain yang tak terhitung yang tidak dapat dibuat konstan, tetapi dapat di jadikan pertimbangan untuk tujuan kita hanya pada masalah-masalah tertentu.

11.2 Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika adalah konservasi energi, di perkenalkan pada bagian 5.5. Secara singkat, hukum tersebut menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi hanya dapat berubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lainnya. Untuk tujuan termodinamik, perlu lebih spesifik dan menguraikan hukum tersebut secara lebih kuantitatif.

Termodinamika memperhitungkan hubungan antara system S, misalnya gas dalam silinder pada gambar 11.1 dan lingkungan ϵ di sekelilingnya. Lingkungan adalah segala sesuatu yang ada di luar system yang dapat mempengaruhi system, dimana pada banyak kasus termasuk pada sekeliling system. Sistem dan lingkungan merupakan semesta U.

Energi sestem (E_s) adalah jumlah energi kinetik molekul-molekul system (energi termal) dan energi potensial atom-atom dalam molekul (energi kimia). Energi E_s bergantung pada keadaan system, berubah ketika keadaan berubah. Misalnya, perubahan isobaric pada gambar 11.4d, sumber panas meningkatkan energi termal system. Jika sumber panas adalah bagian dari lingkungan, energi E_ϵ lingkungan juga berubah. Hukum pertama termodinamika mengatakan bahwa energi E_u semesta

$$E_u = E_s + E_\epsilon$$

Tidak berubah. Ini berarti, jika E_s dan E_ϵ adalah energi sistem dan lingkungan ketika sistem berada pada satu keadaan dan E'_s dan E'_ϵ adalah energi ketika sistem berada pada keadaan lain, maka

$$E'_s + E'_\epsilon = E_s + E_\epsilon \text{ atau } (E'_s - E_s) + (E'_\epsilon - E_\epsilon) = 0 \dots\dots\dots 11.2$$

Seperti sebelumnya, delta digunakan sebagai awalan yang berarti "perbedaan dalam" atau „perubahan dari“. Secara spesifik ΔE_s adalah energi dari keadaan akhir sistem dikurangi energi dari keadaan awal,

$$\Delta E_s = E'_s - E_s$$

Dan ΔE_ϵ adalah energi akhir lingkungan dikurangi energi awal

$$\Delta E_\epsilon = E'_\epsilon - E_\epsilon$$

Hubungan simbol-simbol persamaan 11.2 dapat dituliskan

$$\Delta E_s + \Delta E_\epsilon = 0 \text{ atau}$$

$$\Delta E_s = - \Delta E_\epsilon \text{ hukum pertama 11.3}$$

Ini adalah ungkapan matematika yang sesuai untuk hukum pertama termodinamika. Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung perubahan energi sistem jika perubahan energi lingkungan diketahui, dan sebaliknya.

Panas dan Kerja

Energi dapat ditransfer antara sistem dan lingkungan dalam dua cara yang berbeda secara mendasar.

1. Panas adalah energi yang mengalir dari satu benda ke benda lain sebagai akibat dari gerakan acak molekul – molekul benda, Molekul – molekul dari suatu benda dengan suhu T_1 mempunyai rata-rata energi kinetik yang lebih tinggi daripada molekul-molekul suatu benda dengan suhu lebih rendah T_2 . Jika dua benda bersentuhan, molekul-molekulnya bertumbukan satu sama lain dimana benda tersebut bersentuhan. Pada setiap tumbukan, molekul dengan energi lebih banyak dari benda yang lebih panas kehilangan energi, sedangkan molekul dengan energi lebih sedikit dari benda yang lebih dingin akan bertambah energinya. Melalui rangkaian milyaran demi milyaran tumbukan, energi ditransfer dari benda yang lebih panas ke benda yang lebih dingin.

2. Kerja dilakukan oleh atau pada sistem dimana pada sistem tersebut terjadi perubahan volume. Misalnya, ekspansi gas pada gambar 11.5 dilakukan dengan menggerakkan piston. Gas menggunakan gaya $F = P.A$ pada piston, dimana P adalah tekanan gas dan A adalah daerah melintang pada piston. Oleh karena itu, jika piston bergerak sejauh jarak d , kerja yang terjadi adalah

$$W = F d = P.A.d = P.\Delta V \dots\dots\dots 11.4$$

dimana $\Delta V = V_{\text{akhir}} - V_{\text{awal}}$ adalah perubahan volume gas.

Kerja W dihasilkan pada pengeluaran energi sistem dan meningkatkan energi lingkungan. Jadi dengan melakukan kerja, energi ditransfer dari sistem ke lingkungan. Demikian juga, jika gas ditekan, kerja terjadi pada sistem dan energi sistem meningkat pada pengeluaran energi lingkungan.

Jika selama perubahan, sejumlah panas Q memasuki sistem sedangkan kerja W dilakukan oleh sistem, perubahan energi sistem adalah

$$\Delta E_s = Q - W \text{ hukum pertama} \dots\dots\dots 11.5$$

Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan energi sama dengan panas yang masuk ke sistem dikurangi kerja yang dilakukan oleh sistem. Persamaan tersebut merupakan bentuk lain dari hukum pertama. Ketika panas (kalor) meninggalkan sistem, Q negatif dan jika kerja terjadi pada sistem, W negatif.

Kalor Jenis (kalor spesifik)

Ketika kalor ditambahkan pada sistem, suhu sistem meningkat. Untuk memberikan sejumlah kalor, suhu berubah ΔT bergantung pada tekanan atau volume sistem yang dijaga konstan selama proses. Pada perubahan isokhorik (volume konstan), perubahan suhu dihubungkan dengan kalor yang diserap.

$$Q = C_v .\Delta T \text{ Isokhorik} \dots\dots 11.6a$$

Dimana C_v adalah kapasitas kalor sistem pada volume konstan. Kalor jenis C_v suatu zat adalah kapasitas kalor dibagi oleh massa zat :

$$C_v = C_v/m \dots\dots\dots 11.6b$$

Kalor jenis adalah sifat khas suatu zat. Hal tersebut bergantung pada suhu, tetapi suhu yang sangat kecil dapat dianggap konstan. Jika tidak ada kerja yang terjadi ketika $\Delta V = 0$, kalu Q yang diserap sama dengan perubahan energi. Gabungan persamaan 11.6a dan 11.6b, diperoleh :

$$\Delta E_S = Q = mC_v \cdot \Delta T$$

Kebanyakan perubahan bilogi terjadi pada tekanan tetap (konstan) daripada volume tetap, pada perubahan isobari (tekanan konstan), perubahan suhu dihubungkan dengan kalor yang diserap

$$Q = mC_p \cdot \Delta T \text{ Isobarik.....11.7}$$

Dimana C_p adalah kalor jenis pada tekanan konstan. ini adalah kalor jenis yang banyak digunakan secara umum. Tabel 11.1 memberikan nilai C_p untuk beberapa Zat. Satuannya adalah Kcal /kg°C atau J/kg°C

Dari persamaan 11.4 , 11.5 dan 11.7 perubahan energi dalam perubahan Isobarik menjadi,

$$\begin{aligned} \Delta E_S &= Q - W \\ &= m \cdot C_p \cdot \Delta T - P \cdot \Delta V \end{aligned}$$

Jika cairan atau padatan di panaskan pada tekanan konstan, hanya terjadi peningkatan kecil pada volume, jadi hubungan $P\Delta V$ sangat kecil pada persamaan 11.8. Akibatnya terdapat perbedaan yang kecil antara perubahan volume konstan dan tekanan konstan untuk cairan atau padatan, dan C_v sama dengan C_p untuk semua tujuan praktis. Gas, disisi lain dianggap mengalami ekspansi ketika di panaskan, dengan demikian 1,0 dan 16,7 bergantung pada gas (lihat tabel 13.2)

Kalorimetri

Kalor yang diserap selama perubahan di ukur dalam kalorimeter, sebuah bejana air yang besar mengelilingi wadah yang lebih kecil .Bagian luar bejana disekat secara termal untuk mencegah kalor masuk atau keluar selama perubahan terjadi. Wadah yang terbuat dari tembaga atau bahan yang dapat menghantarkan panas, untuk memastikan terjadi pertukaran panas antara air dan wadah. Wadah melingkupi sistem untuk di ukur, dan air yang mengelilingi, wadah adalah lingkungan.

11.3 Hukum Kedua termodinamika

Sebuah benda dengan massa m dilepaskan dari ketinggian h secara spontan jatuh ke tanah, kemudian diam. Pada situasi ini energi semesta adalah jumlah energi termal benda, energi termal tanah dan energi mekanik benda. Sebelum dilepaskan, benda mempunyai energi mekanik yang sama dengan energi potensialnya $U = mgh$, dan setelah benda tersebut diam di tanah, energi

mekaniknya nol. Pada proses ini, dengan gemikian energi mekanik semesta berkurang dari mgh menjadi nol. Jika energi total semesta tidak berubah (hukum pertama termodinamika), energi termal semesta dapat meningkat dengan mgh. Peningkatan energi termal menunjukkan peningkatan yang kecil pada temperatur benda dan tanah.

Sebagaimana diketahui dari pengalaman sehari-hari bahwa suatu benda yang awalnya diam di tanah tidak akan pernah secara spontan meloncat ke udara. Hal tersebut tidak mungkin terjadi karena melanggar hukum pertama. Jika sebuah benda meloncat ke udara, akan terjadi peningkatan energi mekanik semesta. Hal ini tidak akan melanggar hukum pertama, bagaimanapun jika terdapat hubungan penurunan energi termal semesta. Hukum pertama tidak menjelaskan mengapa benda tidak pernah meloncat ke udara secara spontan.

Proses benda meloncat ke udara secara spontan adalah kebalikan dari proses benda jatuh ke tanah secara spontan. Satu proses terjadi dengan mudah. Sedangkan proses kebalikannya tidak akan pernah terjadi sama sekali. Banyak proses irreversibel yang lain yang dapat terjadi hanya dalam satu arah. Sebagai contoh, ketika benda yang dingin dan benda panas bersentuhan, kalor selalu mengalir dari benda panas ke benda yang dingin, dan tidak pernah dari benda dingin ke benda yang panas. Akibatnya suhu benda yang panas menurun, sedangkan suhu benda yang dingin meningkat. Jika proses kebalikan yang terjadi, benda yang dingin akan menjadi lebih dingin sedangkan benda yang panas akan lebih panas. Contoh lain, tinta diteteskan kedalam segelas air, menyebar hingga tinta tersebut dalam air. Proses kebalikannya, dimana campuran air dan tinta secara spontan memisah menjadi air murni dan tinta murni, tidak akan pernah terjadi.

Pernyataan Kelvin dan Clausius mengenai hukum kedua termodinamika

Hukum kedua termodinamika merupakan proses yang tidak dapat terjadi secara spontan. Banyak pernyataan yang serupa dengan hukum kedua, dan kita harus memperhatikan beberapa pernyataan tersebut pada bab ini

Formulasi Kelvin-Planck atau hukum termodinamika kedua menyebutkan bahwa adalah tidak mungkin untuk membuat sebuah mesin kalor yang bekerja dalam suatu siklus yang semata-mata mengubah energi panas yang diperoleh dari suatu reservoir pada suhu tertentu seluruhnya menjadi usaha mekanik. Hukum kedua termodinamika mengatakan bahwa aliran kalor memiliki arah; dengan kata lain, tidak semua proses di alam semesta adalah reversibel (dapat dibalikkan arahnya). Sebagai contoh jika seekor beruang kutub tertidur di atas salju, maka salju dibawah tubuhnya akan mencair karena kalor dari tubuh beruang tersebut. Akan tetapi beruang tersebut tidak dapat mengambil kalor dari salju tersebut untuk menghangatkan tubuhnya. Dengan demikian, aliran energi kalor memiliki arah, yaitu

dari panas ke dingin. Satu aplikasi penting dari hukum kedua adalah studi tentang mesin kalor.