

BAB 2

ZAT, INTERNAL ENERGI, PANAS DAN TEMPERATUR

2-1. Panas

Panas adalah suatu bentuk energi. Hal tersebut dijelaskan dari fakta bahwa panas dapat diubah ke dalam bentuk energi dan bentuk energi lain yang dapat diubah ke dalam panas. Namun begitu, ada beberapa kerancuan yang terjadi apakah energi akan berubah menjadi panas. Pada umumnya digunakan dalam bentuk konsep panas yaitu energi internal atau energi molekul yang hampir dapat diterima seluruhnya. Karena itu, berkenaan dengan panas yaitu energi internal hampir tidak dapat dihindari dari waktu. Sebaliknya, dilihat dari sudut termodinamika, panas didefinisikan sebagai energi transisi dari satu benda ke benda lain sebagai hasil dari perbedaan temperatur antara dua benda. Dalam konsep ini, semua energi diubah menjadi kerja. Kedua konsep panas tersebut akan dibahas dalam bab ini dan berikutnya. Bentuk panas yang digunakan dalam buku ini selanjutnya dalam arti lain.

2-2. Zat dan Molekul

Apapun dalam semua bidang mempunyai berat atau menempati ruang. Semua zat tersusun dari molekul. Molekul terbuat dari partikel yang kecil yang disebut atom dan atom tersusun dari partikel yang sangat kecil yang disebut elektron, proton, neutron dan lain-lain. Mempelajari atom dan partikel subatomik di luar bahasan buku ini dan dibahas secara terbatas.

Molekul sangat kecil, partikel stabil zat masuk ke dalam substansi khusus dapat terbagi lagi dan disimpan sebagai substansi orisinil. Contoh: satu gram garam dapur (NaCl) dapat merusak ke dalam molekulnya sendiri dan setiap molekul akan menjadi molekul garam yaitu substansi orisinil. Bagaimanapun, semua molekul terbuat dari atom, oleh karena itu, kemungkinan selanjutnya dapat membagi lagi menjadi molekul garam dalam komponen atomnya. Tetapi sebuah molekul garam terbuat dari satu atom sodium dan satu atom klorin. Sebab itu, jika sebuah molekul garam dibagi ke dalam atom, atom tersebut tidak akan menjadi atom garam zat yang orisinil, tetapi dua atom yang masuk berbeda zat, satu sodium dan satu klorin.

Terdapat banyak zat yang terbuat dari hanya satu jenis atom. Molekul oksigen (O_2), sebagai contoh: tersusun dari dua atom oksigen. Jika sebuah molekul oksigen dibagi ke dalam dua komponen atom, setiap atom akan menjadi sebuah atom oksigen zat yang orisinil, tetapi atom oksigen tidak akan stabil dalam kondisi ini. Atom-atom tersebut tidak akan tinggal bebas dan terpisah dari atom oksigen, tetapi jika dibolehkan bergabung dengan atom atau molekul zat yang lain untuk membentuk kompond baru atau menggabung kembali dengan yang lain untuk membentuk molekul oksigen kembali.

Diasumsikan bahwa molekul sebagai pembuat suatu zat yang menempel bersama oleh gaya saling tarik disebut kohesi. Gaya tarik molekul itu dimiliki satu sama lain yang dapat disamakan dengan menarik arus listrik diantara yang tidak sama atau kutub magnet yang tidak sama. Meskipun saling tarik itu ada antara molekul dan hasilnya mempengaruhi setiap molekul lain, molekul tidak terlalu rapat membungkus. Terdapat sejumlah celah antara keduanya dan hal itu relatif bebas untuk bergerak. Molekul lebih lanjut diasumsikan sebagai sesuatu yang mengalir dan bergetar konstan atau aliran konstan. Angka dan tingkat getaran atau pergerakan dapat dihitung dengan menjumlahkan energi yang dimilikinya.

2-3. Internal Energi

Sebelum diuraikan bahwa energi dihasilkan oleh kerja atau akibat beberapa jenis gerakan. Molekul seperti yang lainnya, dapat bergerak hanya jika memiliki energi. Sebab itu, sebuah benda yang mempunyai energi internal sebaik energi eksternalnya. Mengingat benda mempunyai energi mekanik eksternal, maka adanya kecepatan, posisi atau susunan yang berhubungan dengan beberapa kondisi, juga memiliki energi internal sebagai hasil dari kecepatan, posisi dan susunan molekul yang menyusun benda tersebut.

Molekul beberapa material memiliki dua energi yaitu energi kinetik dan energi potensial. Energi internal total suatu zat adalah penjumlahan energi kinetik dan energi potensial. Hubungan tersebut ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$U = K + P \quad (2-1)$$

Di mana : U = Energi internal total

K = Energi kineti internal

P = energi potensial internal

2-4. Energi Kinetik Internal

Energi kinetik internal adalah energi gerakan molekul atau kecepatan molekul. Di mana energi panas mengalir ke dalam zat yang menaikkan energi kinetik internal dan kecepatan atau gerakan molekul juga naik. Peningkatan kecepatan molekul selalu disertai oleh peningkatan temperatur zat. Sebab itu, temperatur zat, dalam beberapa hal, adalah diukur oleh rata-rata kecepatan molekul yang membungkus benda. Energi kinetik yang besar dimiliki oleh molekul yang gerakannya sangat cepat, yang paling panas dan zat yang memiliki internal energi yang besar. Kemudian, jika internal energi kinetik dari zat diminimalisir oleh penghilangan panas, maka gerakan molekul akan menurun atau memperlambat dan temperatur zat akan turun.

Menurut teori kinetik, jika penghilangan panas kontinu sampai energi kinetik internal zat berkurang sampai 0, temperatur zat akan turun sampai Nol Absolut (kira-kira $- 460^{\circ}\text{F}$) dan gerakan molekul akan berhenti dititik awal. *

* Sekarang diketahui bahwa energi tidak 0 pada nol absolute, ini merupakan kekacauan (entropi) yang mana mengurangi nol. Panas kadang-kadang didefinisikan sebagai “kekacauan energi”. Kedua energi dan penurunan kekacauan sebagai penurunan temperatur. Penurunan kekacauan yang cepat dari energi dan pengurangan nol sebelum energi mencapai nol.

2-5. Keadaan Benda

Benda dapat berada dalam tiga fase atau dalam satu kumpulan yaitu pada, cair, uap atau gas. Contoh: air berbentuk cairan, tetapi benda ini dapat menjadi es yang berbentuk padat atau menjadi uap yang berbentuk uap atau gas.

2-6. Efek Panas Pada Keadaan Mengumpul

Beberapa benda di bawah kondisi temperatur dan tekanan sebenarnya dapat berwujud dalam beberapa atau semuanya ke dalam 3 bentuk fisik benda. Hal itu menunjukkan bahwa jumlah energi molekul benda dapat ditentukan tidak hanya oleh temperatur benda, tetapi juga oleh 3 keadaan fisik benda tersebut yang diasumsikan pada beberapa bentuk partikel. Dengan kata lain, penjumlahan atau pengurangan panas dapat merubah keadaan fisik benda sama seperti mengubah dalam temperatur.

Panas akan membuat perubahan pada keadaan fisik benda dengan jelas dari bentuk beberapa benda menjadi besi yang akan melebur ketika diberi panas yang cukup. Selanjutnya fenomena mencairnya es dan mendidihnya air sudah dikenal oleh setiap orang. Setiap perubahan pada keadaan fisik akan membawa perubahan panas.

2-7. Energi Potensial Internal

Energi potensial internal adalah energi molekul untuk memisahkan atau menyusun. Merupakan energi molekul yang dimiliki dari hasil posisinya dalam hubungan dengan yang lain. Tingkat pemisahan molekul yang tinggi, tinggi pula energi potensial internalnya.

Ketika zat mengembang atau berubah bentuk fisiknya dengan penambahan energi, penyusunan kembali molekul akan mengambil tempat yang akan menaikkan jarak diantara molekul. Oleh karena molekul dapat menarik satu dari yang lain oleh gaya yang cenderung mendorong molekul untuk menempel. Kerja internal harus diberikan agar molekul berubah lagi melawan gaya tarik. Jumlah energi sama dengan jumlah kerja internal yang harus dilakukan pada zat. Energi ini diset ke dalam zat yang akan menaikkan energi potensial internal. Energi yang disimpan diberikan oleh kenaikan jarak antar molekul. Sumber dari energi ini adalah panas yang disuplai. Ada hal penting untuk dimengerti bahwa dalam hal energi mengalir ke dalam zat tidak mempunyai efek pada kecepatan molekul (energi kinetik internal) hanya derajat pemisahan molekul (energi potensial internal yang berpengaruh).

2-8. Keadaan Padat

Molekul dalam keadaan padat mempunyai jumlah energi potensial internal relatif kecil. Molekul dari zat cukup rapat akibat gaya tarik dari setiap molekul dan akibat gaya gravitasi. Sebab itu, zat dalam bentuk padat cukup kaku struktur molekulnya yang mana posisi setiap molekul lebih atau kurang pasti dan gerakan molekul terbatas pada getaran jenis gerakannya yang bergantung pada jumlah energi kinetik internal yang dimiliki oleh molekul, yang mungkin perlahan atau cepat.

Karena struktur molekulnya kaku, bentuk pada cenderung untuk menahan ukuran dan bentuknya. Bentuk padat tidak bertekanan dan akan memberikan tahanan yang kuat untuk beberapa gaya yang akan mengubah bentuknya.

2-9. Keadaan Cair

Molekul zat dalam keadaan cair mempunyai energi lebih banyak dibandingkan dengan zat dalam keadaan padat dan molekul zat tersebut tidak begitu rapat dengan yang lainnya. Molekul tersebut mempunyai energi terbesar diberikan untuk mengatasi setiap gaya tarik dari molekul lain pada beberapa tingkatan dan lebih leluasa untuk bergerak. Molekul bebas untuk merapat dan bergerak pada yang lainnya dalam aliran dan zat itu disebut mengalir. Meskipun cairan tidak ditekan tetapi akan memiliki ukuran, karena struktur molekul fluida. Pada kondisi itu, tidak akan mempunyai bentuk, tetapi diasumsikan bentuknya seperti isi bejana.

2-10. Keadaan Uap atau Gas

Molekul dari zat dalam keadaan gas mempunyai jumlah energi yang rata-rata besar dibandingkan dengan zat dalam keadaan cairan.. Zat tersebut mempunyai cukup energi untuk mengatasi semua gaya tekan. Zat tersebut tidak cukup bebas oleh gaya tarik zat lainnya, juga zat itu tidak bebas oleh gaya gravitasi. Konsekuensinya, zat melayang pada kecepatan tinggi, terus menerus bertubrukan dengan yang lainnya dan dengan dinding wadah. Alasannya, gas akan menahan baik ukuran maupun bentuknya. Jika siap untuk ditekan dan akan mengisi wadah tanpa memperhatikan ukuran. Lebih lanjut, jika gas tidak disimpan pada wadah yang rapat, gas akan keluar dari wadah dan akan bercampur ke dalam udara disekitarnya.

2-11. Temperatur

Temperatur adalah bagian dari zat. Temperatur diukur dalam tingkat intensitas panas atau tekanan panas dari benda. Temperature yang tinggi menunjukkan tingkat intensitas panas yang tinggi atau tekanan thermal (thermal pressure) tinggi dan benda tersebut dikatakan 'panas'. Demikian juga, temperatur rendah menunjukkan tingkat intensitas panas yang rendah atau tekanan thermal rendah dan benda dikatakan 'dingin'.

2-12. Thermometer

Alat yang sering digunakan untuk mengukur temperatur disebut thermometer. Penggunaan thermometer tergantung pada bentuk cairan yang akan mengembang atau

mengerut pada waktu temperatur naik atau turun. Karena mempunyai temperatur beku yang rendah dan koefisien pengembangan yang konstan, alcohol dan merkuri merupakan cairan yang sering digunakan pada thermometer. Thermometer merkuri lebih akurat, ada dua alasan yaitu koefisien pengembangan lebih konstan melewati perubahan temperature yang besar dibandingkan dengan alcohol. Akan tetapi, thermometer merkuri mempunyai kelayakan yaitu lebih mahal dan lebih sulit untuk dibaca. Alcohol lebih murah dan dapat diberi warna untuk mempermudah pembacaan.

Ada dua skala thermometer yang sering digunakan pada saat sekarang. Skala Fahrenheit digunakan di negara yang berbahasa Inggris, skala centigrade (Celcius) banyak digunakan di negara-negara Eropa dan banyak digunakan untuk keperluan ilmiah.

2-13. Skala Centigrade (Celcius)

Titik dimana air membeku dibawah tekanan atmosfer diambil sebagai titik nol pada skala centigrade, dan titik dimana air mendidih menunjukkan pada angka 100. Jarak pada skala antara dua titik itu dibagi ke dalam 100 sama dengan satuan yang disebut 'derajat'. Selanjutnya, jarak antara titik membeku dan mendidih air pada skala centigrade yaitu 100° . Air membeku pada 0° centigrade (celcius) dan air mendidih pada 100° centigrade.

2-14. Skala Fahrenheit

Walaupun terdapat beberapa pertentangan yang menggunakan metode Fahrenheit dalam menentukan skala pertama temperature, telah dicapai pengertian yang sama dalam menggambarannya seperti dijelaskan di atas. Pada skala Fahrenheit, titik dimana air membeku diberi tanda 32 dan titik dimana air mendidih ditandai dengan 212. Kemudian, ada 180 satuan antara titik beku dan titik didih air. Nol atau penunjukkan titik pada skala Fahrenheit ditempatkan pada 32 satuan atau derajat di bawah titik beku air dan diasumsikan untuk menunjukkan temperature terendah Fahrenheit yang dapat dicapai dengan campuran ammonium klorida dan salju.

2-15. Konversi Temperatur

Perbedaan temperature pada skala yang satu dapat dikonversi pada pembacaan skala yang lain dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32 \quad (2-2)$$

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32) \quad (2-3)$$

Dengan catatan bahwa perbedaan titik beku air dan titik didih air pada skala Fahrenheit adalah 180° , sedangkan perbedaan antara dua titik pada skala centigrade hanya 100° . Oleh karena itu, 100° centigrade ekuivalen dengan 180° Fahrenheit. Penentuan persamaan ini adalah adalah 1°C sama dengan $9/5^{\circ}\text{F}$ ($1,8^{\circ}\text{F}$) dan 1°F sama dengan $5/9^{\circ}\text{C}$ ($0,555^{\circ}\text{C}$). Persamaan ini dirunjukkan pada grafik dalam Gambar 2-1. Titik 0° pada skala Fahrenheit adalah 32°F dibawah titi beku air, hal itu perlu ditambah 32°F pada Fahrenheit ekuivalen setelah dikonversi dari centigrade. Demikian juga, perlu dikurangi 32°F dari Fahrenheit yang dibaca sebelum dikonversi ke dalam centigrade

Contoh 2-1 :

Konversikan temperatur yang dibaca 50°C pada temperature Fahrenheit.

Jawab :

Gunakan persamaan 2-2: $9/5 (50^{\circ}\text{C}) + 32 = 122^{\circ}\text{F}$

Contoh 2-2 :

Thermometer pada dinding ruangan terbaca 86°F . Berapa temperatur ruangan dalam derajat centigrade ?

Jawab :

Gunakan persamaan 2-2: Temperatur dalam $^{\circ}\text{C} = 5/9 (86 - 32) = 25^{\circ}\text{C}$

Contoh 2-3 :

Thermometer menunjukkan bahwa temperatur sejumlah air naik menjadi 45°F akibat penambahan panas. Hitunglah kenaikan temperatur dalam derajat centigrade ?

Jawab :

Kenaikan temperatur dalam $^{\circ}\text{F} = 45^{\circ}\text{F}$

Kenaikan temperatur dalam $^{\circ}\text{C} = 5/9 (45^{\circ}\text{F}) = 25^{\circ}\text{C}$

2-16. Temperatur Absolut

Temperatur dibaca dari skala Fahrenheit dan skala centigrade yang keduanya berbeda dalam menentukan titik nol. Seperti telah ditunjukkan, tidak sama pada kedua skala. Jika hanya ingin mengetahui perubahan temperatur dari zat dalam hubungan mencari beberapa

titik, yaitu cukup dengan membaca titik awal. Akan tetapi, jika temperatur dibaca untuk digunakan dalam persamaan untuk menghadapi hukum dasar, hal ini perlu digunakan temperatur yang dibaca dari titik yang sebenarnya atau temperature nol absolut. Percobaan telah menunjukkan bahwa satu titik yang dikenal dengan nol absolut ditetapkan kira-kira -460 °F atau -273 °C (Gambar 2-1).

Pembacaan temperatur pada titik nol absolut ditandai sebagai temperatur absolut dan dapat dalam derajat Fahrenheit atau centigrade. Temperatur dibaca pada skala Fahrenheit dapat dikonversi ke dalam temperatur absolut dengan menambahkan 460 °F pada pembacaan Fahrenheit. Hasilnya dalam derajat Rankine (°R).

Demikian juga, temperature centigrade dapat dikonversi ke dalam temperatur absolut dengan menambahkan 273 ° pada pembacaan centigrade. Hasil temperatur itu dinyatakan dalam derajat Kelvin (°K).

Dalam mengkonversi dari atau ke temperatur absolut dapat menggunakan persamaan berikut :

$$T = t + 460 \quad (2-4)$$

$$t = T - 460 \quad (2-5)$$

$$T = t + 273 \quad (2-6)$$

$$t = T - 273 \quad (2-7)$$

Di mana :

T = temperatur absolut dalam derajat Rankin atau Kelvin

t = temperatur dalam derajat Fahrenheit atau centigrade

Persamaan 2-4 dan 2-5 digunakan untuk skala Rankine dan Fahrenheit, sedangkan persamaan 2-6 dan 2-7 digunakan untuk skala Kelvin dan Centigrade. Setelah ini dalam buku ini temperatur Rankin dan Fahrenheit digunakan jika ada spesifikasi lain.

Contoh 2-4 :

Sebuah thermometer pada tangki kompresor udara menunjukkan bahwa temperatur udara dalam tangki adalah 95 °F. Tentukan temperatur absolut dalam derajat Rankine ?

Jawab :

Gunakan persamaan 2-4: $T = 95 \text{ °F} + 460 = 555 \text{ °R}$

Contoh 2-5 :

Temperatur uap masuk pada suction kompresor refrijerasi yaitu $- 20^{\circ}\text{F}$. Hitunglah temperatur uap dalam derajat Renkine ?

Jawab :

Gunakan persamaan 2-4: $T = - 20^{\circ}\text{F} + 460 = 440^{\circ}\text{R}$

Contoh 2-6 :

Jika temperatur gas adalah 100°C , barapakah temperatur gas dalam derajat Kelvin ?

Jawab :

Gunakan persamaan 2-6 $T = 100 + 273 = 373^{\circ}\text{K}$

Contoh 2-7 :

Temperatur steam meninggalkan boiler adalah 610°R . Berapakah temperatur steam dalam derajat Fahrenheit ?

Jawab :

Gunakan persamaan 2-5: $T = 610^{\circ}\text{R} - 460^{\circ} = 150^{\circ}\text{F}$

2-17. Arah dan Jumlah Aliran Panas

Panas akan mengalir dari satu benda ke benda lain jika dan hanya jika terdapat perbedaan temperatur antara kedua benda tersebut. Jika temperatur dua benda sama, maka tidak ada perpindahan panas.

Panas selalu mengalir ke temperature rendah, dari temperature tinggi ke temperatur rendah, dari benda panas ke benda yang dingin dan tidak pernah sebaliknya. Panas adalah energi dan tidak dapat dimusnahkan. Jika panas meninggalkan satu zat benda, maka akan mengalir ke dalam dan diserap oleh zat benda lain yang temperaturnya dibawah benda itu sehingga benda menjadi dingin.

Jumlah perpindahan panas antara dua benda akan selalu langsung sebanding dengan perbedaan temperatur antara dua benda tersebut.

2-18. Metode Perpindahan Panas

Perpindahan panas dari satu tempat ke tempat lain terjadi dalam 3 cara, yaitu: 1) konduksi, 2) konveksi, dan 3) radiasi.

2-19. Konduksi

Perpindahan secara konduksi terjadi ketika energi dipindahkan dengan kontak langsung antara molekul dalam satu benda atau antara molekul dua benda atau lebih dalam kontak panas yang baik dengan yang lain. Dalam kasus lain, pemanasan molekul dilakukan oleh energinya ke molekul lain dengan cepat yang berdekatan dengan benda tersebut. Perpindahan panas dari molekul ke molekul oleh konduksi sama dengan yang diambil oleh tempat antara bola pada meja biliar. Terdapat semua atau beberapa bagian energi yang bergerak dalam satu bola dipindahkan pada saat tubrukan dengan bila lain yang menubruk.

Ketika sebuah batang besi terus-menerus dipanaskan hingga membara, beberapa energi panas dari pemanasan terus-menerus pada batang besi akan mengalir dengan cara konduksi dari molekul ke molekul melewati batang besi sampai dingin. Molekul batang besi saat dipanaskan terus-menerus akan menyerap energi dari yang membara, energinya akan meningkat dan molekul bergerak sangat cepat dan melawati jarak yang jauh. Peningkatan energi pada pemanasan molekul disebabkan oleh tubukan molekul melawan molekul dengan cepat yang berdekatan dengan molekul tersebut.

Pada saat yang sama, dampak dan akibat dari hal tersebut molekul bergerak cepat memindahkan beberapa energinya pada molekul disebelahnya yang bergerak lambat. Sehingga molekul tersebut mulai bergerak lebih cepat. Pada cara ini, energi lepas dari molekul ke molekul dari batang besi yang dipanaskan ke batang besi yang dingin. Akan tetapi, tidak ada kasus yang mungkin untuk molekul yang jauh dari sumber panas untuk memiliki energi dibandingkan dengan yang dekat dengan yang dipanaskan.

Pada saat panas melewati batang besi, udara disekeliling batang besi dengan cepat ikut terpanaskan juga oleh konduksi. Getaran partikel yang sangat cepat pada batang besi yang dipanaskan menabrak melawan molekul udara yang melakukan kontak dengan batang besi. Energi akan diberikan pada molekul udara yang disebabkan oleh pergerakan molekul pada saat jumlahnya banyak dan energinya dipindahkan pada yang lain yang dekat dengan molekul udara. Kemudian sejumlah panas diberikan pada batang besi secara konduksi dan dibawa oleh udara disekelilingnya.

Jika panas yang disuplai ke batang besi dihentikan, panas akan terus dibawa dari batang besi oleh udara disekelilingnya sampai temperature batang besi menurun sama

dengan udara. Ketika hal ini terjadi, tidak akan terjadi perbedaan temperature, sistem akan menjadi seimbang dan tidak ada panas yang dipindahkan.

Jumlah panas yang dipindahkan oleh konduksi seperti yang dijelaskan di atas, secara langsung sebandung dengan perbedaan antara bagian temperature yang tinggi dan temperature yang rendah. Akan tetapi, tidak semua zat menyalurkan panas dengan jumlah yang sama. Beberapa zat seperti: besi, menyalurkan panas dengan sangat cepat, sebaliknya yang lain, seperti : kaca, kayu dan gabus mempunyai tahanan yang besar dalam menyalurkan panas. Oleh karena itu, untuk memberikan beberapa perbedaan temperature jumlah panas yang mengalir secara konduksi melalui zat yang berbeda panjangnya dan potongan melintangnya akan berbeda sesuai dengan kemampuan partikel zat yang berbeda-beda dalam menyalurkan panas. Kemampuan relatif suatu zat dalam menyalurkan panas disebut **konduktivitas**. Zat yang dapat menyalurkan panas dengan baik mempunyai konduktivitas yang tinggi. Sebaliknya, zat yang menyalurkan panasnya jelek mempunyai konduktivitas yang rendah dan digunakan sebagai insulasi panas.

Secara umum, benda padat sebagai penyalur panas yang baik dibandingkan dengan cairan dan gas sebagai penyalur panas yang lebih baik dibandingkan dengan gas. Hal tersebut dihitung berdasarkan perbedaan struktur molekul. Karena molekul gas lebih mudah dipisahkan, pemindahan panas secara konduksi yaitu dari molekul ke molekul adalah sulit.

2-20. Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi terjadi ketika panas bergerak dari satu tempat ke tempat lain dengan cara mengalir dengan menggunakan medium fluida. Aliran itu disebut aliran konveksi dan dihasilkan dari perubahan densitas yang dibawa oleh pengembangan panas pada fluida.

Ketika beberapa bagian dari fluida dipanaskan, akan mengembang dan volumenya akan menjadi ringan sehingga naik ke atas dan akan cepat menggantikan yang dingin pada bagian lain fluida. Contoh : diasumsikan bahwa tangki air dipanaskan pada bagian bawah di tengah-tengah (Gambar 2-2). Panas dari api adalah konduksi yang melalui besi pada dasar tangki kepada air di dalam tangki. Air yang berdekatan dengan sumber panas menyerap panas sehingga temperatur naik dan mengembang. Pemanasan pada sebagian air akan menjadi ringan dari air disekelilingnya, sehingga naik ke atas dan

bertukar dengan air yang dingin dan lebih padat yang didorong dari pinggir. Akhirnya bagian air tersebut menjadi panas sehingga naik juga ke atas dan bertukar tempat dengan air yang dingin dari pinggir. Keadaan tersebut berlanjut, panas didistribusikan keseluruh masa air oleh aliran konveksi bersama dengan masa.

Udara hangat mengalir seperti di atas, yang terjadi di atas kompor dan benda panas lainnya yang sudah dikenal semua orang. Bagaimana aliran konveksi digunakan untuk membawa panas pada seluruh bagian ruangan yang akan dipanaskan ditunjukkan pada gambar 2-3.

2-21. Radiasi

Perpindahan panas oleh radiasi terjadi dalam bentuk gerakan gelombang sama seperti gelombang cahaya dimana energipanas dipindahkan dari satu benda ke benda lain tanpa membutuhkan adanya zat. Energi panas dipindahkan oleh gerakan gelombang yang disebut pancaran energi.

Diasumsikan bahwa molekul benda bergetar dengan cepat dan getaran tersebut diset sebagai sebuah gerakan gelombang yang mengelilingi benda *). Kemudian energi internal molekul denda dikonversi ke dalam pancaran gelombang energi. Ketika gelombang energi ditangkap oleh zat benda lain, maka gelombang energi akan diserap oleh benda tersebut dan dikonversi ke dalam energi internal molekul.

Bumi menerima panas dari matahari oleh radiasi. Energi molekul matahari bergetar yang diberikan dalam bentuk pancaran gelombang energi pada ruang antar bintang yang mengelilingi matahari. Gelombang energi bergerak melewati jutaan mil angkasa dan mempengaruhi pada energi bumi dan pada zat benda lainnya yang ditangkap oleh garis edar bumi. Pancaran energi diserap dan diubah bentuknya ke dalam energi internal molekul, sehingga gerakan getaran dari benda panas (matahari) dipancarkan kembali ke dalam benda dingin (bumi).

Semua zat memancarkan dan menyerap panas dalam bentuk pancaran energi. Setiap saat temperature benda dapat lebih panas dari pada temperature sekelilingnya. Pada waktu itu akan memancarkan lebih banyak panas oleh radiasi dibandingkan penyerapan. Oleh karena itu, energi disekitarnya hilang dan internal energi menurun. Jika temperature benda dibawah temperature disekelilingnya, maka akan menyerap lebih banyak pancaran energi

kemudian hilang dan internal energinya naik. Jika tidak ada perbedaan temperature, maka energi akan bertukar sehingga dalam keadaan seimbang dan benda tidak mendapat atau mengeluarkan energi.

Perpindahan panas tidak meungkin melewati tempat vakum, baik secara konduksi maupun secara konveksi. Karena prosesnya sangat alami, maka diperlukan zat yang akan menjadi media perpindahan. Pancaran energi, dilain pihak, tidak bergantung pada zat sebagai media pemindahan dan oleh karena itu, dapat dipindahkan melewati daerah vakum. Selanjutnya, jika pancaran energi dipindahkan dari benda panas ke benda dingin melewati beberapa media yang menghalangi seperti, temperature udara sebagai media penghalang tidak berpengaruh karena akan melewati pancaran energi. Contoh : panas diradiasikan dari dinding yang hangat ke dinding yang dingin melewati dinding yang dihalangi oleh udara, tidak mempunyai efek yang cukup besar terhadap temperature udara. Karena molekul udara relatif sedikit dan banyak berpeancar, gelombang pancaran energi dapat lebih mudah melewati antara keduanya sehingga hanya sebagian kecil pancaran energi yang ditahan dan diserap oleh molekul udara. Jauh lebih besar bagian pancaran energi yang mengenainya dan diserap oleh dinding padat dimana struktur molekulnya lebih padat dan kuat.

Gelombang panas sangat mirip dengan gelombang cahaya, perbedaan dari keduanya hanya panjang dan frekuensinya. Gelombang cahaya mempunyai pancaran gelombang energi sepanjang penglihatan mata manusia. Kemudian, gelombang cahaya kelihatan seperti gelombang panas. Apakah gelombang panas kelihatan atau tidak kelihatan bergantung pada temperatur radiasi benda. Contoh : ketika besi dipanaskan sampai temperaturnya cukup tinggi, besi itu akan “memancarkan cahaya” akan nampak memancarkan gelombang panas (cahaya).

Ketika gelombang energi dipancarkan, nampak atai tidak nampak, menabrak zat benda akan dipantulkan, dibelokan atau diserap oleh benda itu atau dapat melewatinya sampai ke benda lain.

Jumlah energi yang dipancarkan yang akan melewati zat bergantung pada derajat transparansi. Tingginya transparansi suatu zat, seperti : gelas atau air akan memberikan lebih banyak pancaran energi yang melewati zat tersebut. Sebaliknya zat tidak tembus pandang seperti : kayu, besi, gabus dan lain-lain, tidak akan dapat dilewatinya.

Jumlah energi yang dipancarkan, yang pantulkan atau diserap oleh zat bergantung pada sifat permukaan zat tersebut, yaitu warna dan susunannya. Zat yang mempunyai warna terang, permukaan yang sangat mengkilap, seperti: cermin, akan memantulkan pancaran energi secara sempurna. Sebaliknya zat yang kasar, tidak mengkilap, permukaannya kasar akan menyerap jumlah pancaran energi secara maksimum.

2-22. British Thermal Unit (BTU)

Kita telah mengetahui bahwa thermometer hanya mengukur intensitas panas bukan kuantitas. Akan tetapi, dalam pekerjaan yang berhubungan dengan panas sering membutuhkan untuk menentukan jumlah panas. Jelasnya, beberapa satuan panas harus diukur.

Panas sebagai sebuah bentuk energi dan seperti telah dinyatakan dengan jelas dan tidak dapat diukur langsung. Panas dapat diukur dengan mengukur dampaknya pada benda, seperti: perubahan dalam temperatur keadaan zat, warna, ukuran dan lain-lain.

Satuan yang banyak digunakan dalam mengukur panas yaitu British Thermal Unit (BTU). BTU didefinisikan sebagai sejumlah panas yang dibutuhkan untuk mengubah temperatur 1 lb air pada 1 °F. Jumlah panas tersebut, jika ditambahkan pada 1 lb air, maka temperatur air akan naik sebesar 1 °F. sebaliknya jika panas diambil dari 1 lb air, maka temperatur air akan turun sebesar 1 °F.

Jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengubah temperatur 1 lb air pada 1 °F jumlahnya tidak konstan. Perubahan rentang temperatur sedikit pada saat terjadi perubahan. Alasannya, BTU lebih akurat 1/180 dalam menetapkan jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 lb air dari titik beku (32 °F) ke titik didih (212 °F). Hal tersebut diidentifikasi sebagai “BTU sebenarnya” dan jumlah panasnya tepat yang dibutuhkan untuk menaikkan 1 lb air dari 62 °F ke 63 °F. Jika perubahan dalam temperatur terjadi pada titik lain dalam skala temperatur, maka jumlah panas yang diperlukan akan lebih atau kurang dibandingkan dengan BTU sebenarnya, bergantung pada titik partikel pada skala temperatur yang berubah tempat. Akan tetapi, perbedaan dari BTU sebenarnya cukup kecil mungkin juga dapat diabaikan dan tanpa memperhatikan rentang temperatur. Untuk penggunaan praktis cukup akurat, untuk mengasumsikan bahwa temperature 1 lb air akan berubah 1 °F oleh penambahan atau pengurangan 1 BTU.

2-23. Panas Spesifik

Panas spesifik suatu benda adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengubah temperatur 1 lb benda pada 1 °F. Contoh : panas spesifik aluminium adalah 0,226 BTU/lb/°F, sedangkan panas spesifik kuningan 0,089 BTU/lb/°F. Artinya bahwa 0,226 BTU yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 lb aluminium sebesar 1 °F, sedangkan 0,089 BTU yang diperlukan untuk mengubah temperatur 1 lb kuningan menjadi 1 °F. Catatan : bahwa pengertian BTU pada panas spesifik air adalah 1 BTU/lb/°F.

Panas spesifik zat lain, seperti: air, agak berbeda pada setiap skala. Disini juga, perbedaannya kecil yaitu cukup akurat untuk menghitung panas spesifik menjadi jumlah yang konstan. Hal dibawah ini tidaklah benar, bahwa sebuah zat dapat melewati perubahan fisik suatu zat. Panas spesifik suatu zat dalam keadaan pada kira-kira 1,5 dari zat yang sama dalam keadaan cair. Contoh: panas spesifik es adalah 0,5 BTU, sebaliknya panas spesifik air adalah 1. Nilai panas spesifik zat dalam keadaan gas akan dibahas pada bab lain.

2-24. Menghitung Jumlah Panas

Jumlah panas yang harus ditambahkan atau dikurangi dari massa suatu zat agar menimbulkan perubahan yang tetap dalam temperatur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_s = M \cdot C (t_2 - t_1) \quad (2-8)$$

Di mana :

Q_s = jumlah panas yang diserap atau dibuang oleh benda

M = berat benda (lb)

C = panas spesifik benda

t_1 = temperatur awal

t_2 = temperatur akhir

Contoh 2-8:

20 lb air temperatur awal 76 °F dipanaskan sampai temperaturnya naik menjadi 180 °F. Berapa banyak panas yang disuplai ?

Jawab : Gunakan persamaan 2-8:

$$\begin{aligned} Q_s &= 20 \text{ lb} \times 1 \times (180 - 76) \\ &= 2080 \text{ BTU} \end{aligned}$$

Contoh 2-9:

Jika berat air 8,33 lb/gallon, berapabanyak panas yang dibuang oleh 30 galon air yang didinginkan dari 80 °F menjadi 35 °F ?

Jawab : Gunakan persamaan 2-8

Berat air (gallon) = 30 galon x 8,33 lb/gallon = 250 lb

$$\begin{aligned} Q_s &= 250 \text{ lb} \times 1 \times (35 - 80) \\ &= 11.250 \text{ BTU} \end{aligned}$$

Catatan : karena panas spesifik zat dalam satuan BTU/lb/°F, berat zat harus ditentukan lebih dahulu sebelum persamaan 2-8 digunakan.

Bila t_2 lebih kecil dari t_1 ; jawaban yang menggunakan persamaan 2-8 akan negative, menunjukkan bahwa panas dibuang dari pada diserap oleh benda pada soal jenis ini, di mana arah aliran panas jelas, tanda negatif dihilangkan dan jawaban dianggap positif.

Contoh 2-10:

15 lb besi tuang didinginkan dari 500 °F menjadi 250 °F yang dicelupkan dalam 3 galon (25 lb) air yang mempunyai temperatur awal 78 °F. Diasumsikan bahwa panas spesifik besi tuang 0,101 BTU/lb/°F dan semua panas yang diberikan besi tuang diserap oleh air, berapakah temperatur air ?

Jawab : Gunakan persamaan 2-8

Jumlah panas yang diberikan besi tuang :

$$\begin{aligned} Q_s &= 15 \text{ lb} \times 0,101 \times (500 - 250) \\ &= 378,75 \text{ BTU} \end{aligned}$$

Temperatur akhir air setelah menyerap panas yang diberikan besi tuang :

$$\begin{aligned} t_2 &= \frac{Q_s}{MC} + t_1 &= \frac{378,75}{25 \times 1} + 78 &= 15,15^\circ + 78^\circ\text{F} \\ &= 93,15^\circ\text{F} \end{aligned}$$

2-25. Panas Dibagi Ke Dalam Dua Jenis Atau Kategori

Seperti telah dinyatakan sebelumnya (bagian 2-6) bahwa panas mempunyai kemampuan untuk mengubah keadaan fisik benda sebaik kemampuan untuk mengubah temperaturnya. Panas dibagi ke dalam dua jenis atau kategori, bergantung pada yang mana dari dua efek pada benda yaitu menyerap atau membuang. Pembagian panas ke dalam beberapa klasifikasi dibuat untuk memudahkan dan menyederhanakan untuk kebutuhan beberapa perhitungan dan berasal dari beberapa perbedaan pada panas alami benda tersebut.

2-26. Panas Sensibel

Ketika panas diserap atau dibuang oleh benda menyebabkan atau disertai perubahan pada temperature benda, panas yang dipindahkan tersebut diidentifikasi sebagai **panas sensibel**. Istilah sensibel digunakan pada panas khusus yang dapat dideteksi dengan disentuh dan dapat diukur dengan thermometer.

2-27. Panas Latent

Ketika panas diserap atau dibuang oleh benda, dihasilkan atau disertai perubahan keadaan fisik benda, panas tersebut disebut **panas laten**. Nama laten adalah kata latin yang artinya disembunyikan, dikatakan dapat menunjukkan panas jenis khusus menurut Dr. Joseph Black karena bentuknya tidak kelihatan di dalam benda dan tanpa mempunyai efek pada temperatur benda tersebut.

Beberapa benda skala temperaturnya berjalan melewati dua perubahan dalam satu keadaan; pertama, dari padat ke cair dan kemudian temperature cairan terus meningkat mencapai tingkat yang melebihi di mana benda tidak dapat berbentuk cairan lagi, cairan akan berubah fasa menjadi keadaan uap. Ketika perubahan terjadi dalam keadaan antara fasa padat dan fasa cair, panas yang menyebabkannya disebut **panas laten peleburan**. Ketika perubahan terjadi antara fasa cairan dan uap, panas yang menyebabkannya disebut **panas laten penguapan**.

2-28. Panas Sensibel Benda Padat

Untuk memperoleh pengertian yang baik tentang konsep energi molekul, perhatikan perkembangan pengaruh panas yang diambil oleh benda pada keadaan awal termodinamika yaitu energi berisi nol. Diasumsikan bahwa benda padat disimpan pada tempat terbuka pada temperatur -460°F (nol absolut). Secara teori, pada temperatur ini molekul benda tidak memiliki energi dan sama sekali diam.

Ketika energi panas mengalir ke dalam benda padat, molekul benda tersebut mulai bergerak perlahan-lahan dan temperatur benda tersebut mulai naik. Sejumlah energi panas diberikan pada benda padat, getaran molekul bergerak lebih cepat dan benda menjadi hangat. Peningkatan kecepatan molekul dan temperatur benda padat berlanjut dan panas lebih banyak diserap sampai benda padat tersebut mencapai temperatur mencair atau melebur. Jumlah total energi panas yang diperlukan untuk merubah temperatur benda padat dari kondisi nol absolut ke temperatur mencair atau melebur disebut **panas sensibel benda padat**. Seperti ditunjukkan sebelumnya, jumlah panas yang harus dipindahkan agar terjadi perubahan temperatur sejumlah massa dan zat dapat dihitung dengan persamaan 2-8.

2-29. Temperatur Lebur atau Fusion

Untuk mencapai temperatur peleburan, molekul benda pada akan bergerak secepat mungkin dalam struktur molekul benda padat yang kaku. Hal itu tidak mungkin meningkat sampai gerakan molekul atau temperatur benda padat melebihi titik ini tanpa mempunyai sebagian gaya saling tarik yang dimiliki antar molekul. Sebab itu, benda tidak akan tetap pada keadaan padat pada beberapa temperatur di atas temperatur pencairan atau peleburan. Penambahan sejumlah panas diserap oleh benda yang akan menyebabkan beberapa bagian benda padat kembali pada fasa cair.

Temperatur sebenarnya pada waktu mencair atau melebur terjadi perubahan dengan perbedaan benda dengan tekanan. Contoh : pada tekanan atmosfer normal, temperatur peleburan mencapai kira-kira 600°F , sedangkan tembaga mencair kira-kira 2000°F dan es pada 32°F . Secara umum temperatur pencairan menurun pada kenaikan temperatur kecuali untuk benda padat yang bukan kristal, temperatur pencairan naik pada saat tekanan naik.

2-30. Panas Latent Peleburan

Ketika panas diserap oleh benda padat pada temperatur peleburan, molekul benda padat menggunakan energi untuk mengatasi sebagian gaya tariknya untuk yang lain. Molekul berhenti bergerak dari yang lain ke beberapa tingkat dan menjadi lebih banyak terpisah. Pada waktu molekul berhenti mengalir dan yang lainnya, zat kehilangan kekakuan pada keadaan padat dan menjadi mencair. Hal itu tidak dapat lama mendukung bebasnya molekul dan akan dianggap berbentuk isi bejana.

Gaya tarik yang terjadi antara molekul-molekul benda padat sangat dan relatif besar jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya atarik. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk mencair 1 lb benda dari fasa padat ke fasa cair disebut **panas laten peleburan**. Panas laten peleburan, bersama dengan nilai lain seperti: panas spesifik, temperatur peleburan dan lain-lain pada benda berbeda-beda dan dapat dicari dengan percobaan dan dapat dicari dengan tabel.

Ada hal yang sangat penting yang harus ditegaskan bahwa perubahan fasa terjadi secara langsung pada temperatur peleburan, yaitu temperatur pada saat benda padat melebur ke dalam fasa cair, pada waktu yang sama ketika cairan membeku ke dalam fasa padat. Selanjutnya, jumlah panas yang harus dibuang oleh sejumlah berat benda cair pada temperatur peleburan agar membeku ke dalam benda padat adalah sama dengan jumlah panas yang harus diserap oleh jumlah berat yang sama benda padat pada waktu melebur ke dalam bentuk padat.

Tidak ada panas yang diserap atau dibuang selama perubahan fasa yang berpengaruh pada kecepatan molekul. Oleh karena itu, temperatur benda tetap konstan selama perubahan fasa dan temperatur yang dihasilkan benda padat atau cair adalah sama dengan temperatur peleburan *).

*) Hal ini berlaku dengan ketelitian absolut hanya untuk benda kristal. Benda bukan kristal seperti: kaca, mempunyai temperatur peleburan tidak tentu, yaitu temperatur akan berbeda selama perubahan fasa. Sebab itu, untuk kepentingan perhitungan jumlah panas, temperatur diasumsikan tetap konstan selama perubahan fasa.

Jumlah panas yang diserap oleh sejumlah berat benda padat pada temperatur peleburan pada saat melebur ke dalam fasa cair atau dikonversikan. Jumlah panas yang

dibuang oleh sejumlah berat benda padat pada temperatur peleburan pada saat membeku atau memadat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_L = M \times h_{if} \quad (2-29)$$

Di mana :

Q_L = Jumlah panas (BTU)

M = Massa atau berat (lb)

h_{if} = Panas laten (BTU/lb)

Contoh 2-11:

Hitunglah jumlah pans yang dibutuhkan untuk mencairkan 12 lb es pada 32 °F ke dalam air 32 °F. Panas laten peleburan air di bawah tekanan atmosfer yaitu 144 BTU/lb.

Jawab : Gunakan persamaan 2-9

Jumlah panas yang dibutuhkan untuk mencair 12 lb es :

$$Q_L = 12 \text{ lb} \times 144 \text{ BTU/lb} = 1728 \text{ BTU}$$

Catatan :

Karena 12 lb es menyerap 1728 BTU untuk mencair menjadi air, sehingga 12 lb air pada 32 °F akan membuang 1728 BTU untuk kembali menjadi bentuk padat.

Conroh 2-12 :

Jika 50 lb es pada 32 °F menyerap 6000 BTU, berapa bagian air yang akan mencair ?

Jawab : Gunakan persamaan 2-9

$$\text{Bagian es yang akan mencair} \quad M = \frac{Q_L}{h_{if}} = \frac{6000 \text{ BTU}}{144 \text{ BTU / lb}} = 41,66 \text{ lb}$$

2-31. Panas Sensibel Benda Cair

Ketika sebuah benda melewati dari bentuk padat ke phasa cair, cairan dihasilkan pada temperatur peleburan. Temperatur benda cair dapat meningkat oleh penambahan panas. Sejumlah panas diserap oleh benda cair setelah berubah bentuk di mana benda cair ditentukan oleh peningkatan energi internal kinetik. Kecepatan molekul meningkat dan temperatur benda cair naik. Berlaku juga, pada kasus benda padat, temperatur benda cair akhirnya mencapai titik yang sulit untuk dapat naik lagi. Benda cair tidak dapat tetap cair pada saat temperatur di atas temperatur penguapan yang diberikan oleh tekanan, dan untuk

mencapai temperatur penguapan, jika ditambah panas yang diambil oleh benda cair, beberapa bagian cairan akan berubah menjadi fasa uap.

Jumlah panas total yang diambil oleh benda cair sehingga temperaturnya meningkat dari temperatur peleburan ke temperatur penguapan disebut **panas sensibel benda cair**. Kembali disini persamaan 2-8 digunakan, kadang-kadang disebut persamaan sensibel, yang dapat digunakan untuk menghitung jumlah panas yang diperlukan untuk mengubah temperatur sejumlah berat benda cair melewati beberapa jenis rentang temperatur.

2-32. Temperatur Jenuh (Saturation)

Temperatur pada waktu benda cair akan berubah ke dalam fasa uap disebut **temperatur jenuh**, kadang-kadang dijadikan sebagai titik didih atau temperatur didih. Temperatur benda cair akan naik sampai temperatur jenuh disebut **cairan jenuh**.

Temperatur jenuh yaitu temperatur pada saat penguapan terjadi yang berbeda untuk setiap cairan. Contohnya besi menguap pada 4450 °F, tembaga pada 4250 °F dan timah pada 3000 °F. Air mendidih pada 212 °F, alkohol pada 170 °F, beberapa cairan mendidih pada temperatur yang sangat rendah. Amonia, oksigen dan helium yang mendidih pada temperatur masing-masing -28 °F, -295 °F dan -452 °F.

2-33. Panas Latent Penguapan

Sejumlah panas yang diambil oleh benda cair setelah cairan mencapai temperatur jenuh telah digunakan untuk menaikkan derajat pemuaian molekul (peningkatan energi potensial internal) dan benda berubah dari cairan ke fasa uap *).

*) Beberapa energi ditambahkan pada benda meninggalkan benda tersebut sebagai kerja eksternal dan tidak mempunyai pengaruh pada energi internal benda. Jika tekanan konstan, jumlah kerja eksternal diberikan secara proporsional untuk mengubah volume. Kerja eksternal akan dibahas secara detil pada bab berikutnya.

Pada saat itu tidak ada peningkatan kecepatan molekul dan oleh karena itu, tidak berubah energi kinetik internal selama perubahan fasa. Sebab itu, temperatur tetap konstan selama perubahan fasa dan uap dihasilkan pada saat temperatur penguapan

Pada waktu perubahan benda dari bentuk cair ke bentuk uap, molekul benda akan memperoleh cukup energi untuk menahan gaya, termasuk gaya gravitasi. Jumlah energi

yang dibutuhkan untuk melakukan kerja internal yang diperlukan untuk menahan gaya sangat besar. Alasannya, kapasitas benda untuk menyerap panas ketika menjalani perubahan dari fasa cair ke fasa uap sangat besar, kadangkala lebih besar daripada kapasitas penyerapan panas untuk merubah dari fasa padat ke fasa cair.

Jumlah panas yang diserap 1 lb benda cair sehingga berubah bentuk menjadi uap disebut **panas laten penguapan**. Panas laten penguapan, seperti: temperatur jenuh berbeda untuk setiap benda. Hal tersebut akan ditunjukkan pada bab berikutnya bahawa nilai panas laten atau uap jenuh beberapa zat cair berbeda-beda sesuai dengan tekanan di atas benda cair tersebut. Ketika tekanan meningkat, temperatur jenuh meningkat dan nilai panas laten menurun.

Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguap yang diberikan berat benda cair pada temperatur jenuh dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_L = M \times h_{fv} \quad (2-10)$$

Di mana :

Q_L = Jumlah panas (BTU)

M = Massa atau berat (lb)

h_{fv} = Panas laten penguapan (BTU/lb)

Contoh 2-13 :

Jika panas laten penguapan air adalah 970 BTU/lb. Berapa banyak panas yang dibutuhkan untuk menguapkan 3 galon air pada temperatur jenuh 212 °F ?

Jawab : Gunakan persamaan 2-10

Berat air total $M = 3 \text{ galon} \times 8,33 \text{ lb/gallon} = 25 \text{ lb}$

$Q_L = 25 \text{ lb} \times 970 \text{ BTU/lb}$

$= 24.250 \text{ BTU}$

Contoh 2-14 :

Satu gallon air pada 200 °F ada di dalam wadah terbuka yang menyerap 1200 BTU. Berapa banyak air yang menguap ?

Jawab :

Karena temperatur jenuh air pada tekanan atmosfer adalah 212 °F, massa air yang masuk akan naik dari temperatur tersebut sebelum beberapa jumlah air akan menguap.

Berat 1 galon air = 8,33 lb

Gunakan persamaan 2-8, panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air dari 200 °F ke 212 °F

$$Q_a = 8,33 \times 1 (212 - 200) = 100 \text{ BTU}$$

Panas yang digunakan untuk menguapkan beberapa bagian air :

$$= 1200 - 100 = 11.000 \text{ BTU}$$

Berat air yang menguap (persamaan 2-10) :

$$= \frac{11000}{970} = 1.135 \text{ lb} \text{ atau } = 1,136 \text{ galon}$$

Contoh 2-15 :

Jika 5000 BTU dikeluarkan dari 8 lb steam jenuh pada tekanan atmosfer, berapa banyak steam yang akan mengembun ke dalam air ?

Jawab :

Menggunakan persamaan 2-10 :

$$M = \frac{Q_L}{h_{fv}} = \frac{5000 \text{ BTU}}{970 \text{ BTU / lb}} = 5,15 \text{ lb}$$

2-34. Superheat – Panas Sensibel Uap

Pada saat cairan sedang menguap, temperatur yang dihasilkan uap dapat meningkat lebih lanjut oleh penambahan panas. Penambahan panas pada uap setelah penguapan adalah **panas sensibel penguapan**, sering disebut **superheat**. Ketika temperatur uap sedang meningkat di atas temperatur jenuh, uap dikatakan akan menjadi superheated dan disebut superheated uap. Superheated uap akan didiskusikan secara luas dalam bab lain.

2-35. Total Panas

Total panas benda pada beberapa keadaan adalah jumlah total semua panas sensibel dan semua panas laten yang dibutuhkan dibawahnya pada satu keadaan dari kondisi awal nol absolut *).

*) Total panas benda sering disebut enthalpi dan dapat dihitung dari beberapa perubahan pemindahan titik 0 dari nol absolut (lihat bagian 4-18).

Contoh 2-16 :

Hitung isi total panas 1 lb steam pada 212 °F.

Jawab :

Total panas 1 lb steam jenuh yaitu penjumlahan sejumlah panas sebagai berikut :

a) Pada kenaikan temperatur 1 lb es dari -460 °F ke 32 °F, menggunakan persamaan 2-8 :

$$Q_a = 1 \times 0,5 \times [32 - (-460)] = 1 \times 0,5 \times 492 = 246 \text{ BTU}$$

b) Ke pencairan 1 lb es pada 32 °F ke dalam air pada 32 °F, menggunakan persamaan 2-9

$$Q_L = 1 \times 144 = 144 \text{ BTU}$$

c) Pada kenaikan temperatur air dari 32 °F ke 212 °F, menggunakan persamaan 2-8 :

$$Q_a = 1 \times 1 \times (212 - 32) = 1 \times 1 \times 180 = 180 \text{ BTU}$$

d) Pada penguapan 1 lb air, menggunakan persamaan 2-10 :

$$Q_L = 1 \times 970 = 970 \text{ BTU}$$

e) Ringkasan :

$$\text{Panas sensibel benda padat} = 246 \text{ BTU}$$

$$\text{Panas laten peleburan} = 144 \text{ BTU}$$

$$\text{Panas sensibel cairan} = 180 \text{ BTU}$$

$$\text{Panas laten penguapan} = 970 \text{ BTU}$$

$$\text{Total panas 1 lb steam} = \mathbf{1540 \text{ BTU}}$$

Dengan menggunakan diagram panas-temperatur, jawaban pada contoh 2-15 ditunjukkan dengan grafik pada gambar 2-4.

2-36. Energi Mekanik Ekuivalen

Secara normal energi eksternal suatu benda dinyatakan dalam satuan energi mekanik (kerja), sedangkan energi internal suatu benda dinyatakan dalam satuan energi panas.

Sebenarnya energi internal biasanya dinyatakan dalam satuan energi panas yang memberikan definisi panas molekuler atau energi internal. Sebelumnya telah dinyatakan, dari termodinamika memandang energi sebagai energi panas ketika ditransmisikan dari satu benda ke benda lain disebabkan oleh perbedaan temperatur antara dua benda. Pada waktu energi mengalir ke dalam sebuah benda disimpan sebagai energi thermal. Sebaliknya, secara termodinamika dikatakan, energi internal bukan energi panas tetapi energi thermal yang disimpan.

Tidak semua energi panas mengalir ke dalam sebuah benda disimpan dalam benda sebagai energi internal. Pada beberapa contoh, sebagian atau semua energi mengalir ke dalam benda melewati atau meninggalkan benda sebagai sebuah kerja (energi mekanik). Hal tersebut di atas telah memperjelas pada bab lain.

Selanjutnya, sampai pada bagian ini telah diasumsikan bahwa bahwa energi internal suatu benda meningkat hanya karena penambahan energi panas secara langsung, seperti dari membara atau beberapa sumber panas lain. Bagaimanapun hal ini bukanlah suatu kasus. Energi internal atau energi molekul suatu benda dapat juga meningkat ketika kerja dilakukan pada benda. Yaitu kerja energi mekanik yang dilakukan pada benda dapat dikonversikan ke dalam energi internal benda. Contoh : kepala paku yang dipukul oleh palu akan menjadi hangat sebagai energi bagian dari energi mekanik dari pukulan palu dapat dikonversikan ke dalam energi kinetik internal dari kepala paku. Sebagai molekul dari besi yang membuat kepala paku bergetar dan berputar oleh pukulan palu, gerakan dan kecepatan molekul meningkat dan temperatur kepala paku meningkat. Jika sebuah kawat dibengkokkan ke belakang dan ke depan dengan cepat, bagian kawat yang bengkok menjadi panas karena perputaran molekul. Setiap orang sudah tahu meningkatnya temperatur yang diakibatkan oleh gesekan dua permukaan karet.

Energi eksternal benda dapat dikonversi ke dalam energi internal dan sebaliknya. Contoh : sebuah peluru mempunyai kecepatan mencapai sasaran mempunyai energi kinetik karena mempunyai massa dan kecepatan. Pada waktu bertubrukan dengan sasaran, peluru kehilangan kecepatan dan sebagian dari energi kinetik mempengaruhi molekul-molekul dan sasaran begitu juga energi internalnya meningkat.

Karena energi panas sering dikonversi ke dalam energi mekanik (kerja) dan sebaliknya maka sering diperlukan untuk menyatakan energi eksternal dan energi internal suatu benda dalam satuan energi yang sama, maka factor-faktor dapat digunakan untuk mengkonversi dari satu satuan energi ke satuan energi lain.

Telah dihitung berdasarkan eksperimen bahwa 1 BTU energi panas ekuivalen dengan 778 ft-lb energi mekanik, dan 1 BTU adalah jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk melakukan 778 ft-lb kerja. Jumlah tersebut dikenal sebagai energi mekanik ekuivalen dan biasanya dilambangkan dalam persamaan dengan simbol **J**.

Untuk mengkonversikan energi dari BTU ke dalam energi dalam satuan ft-lb, energi dalam BTU dikalikan dengan 778 dan untuk mengkonversikan energi dari ft-lb ke energi dalam BTU, energi dalam ft-lb dibagi oleh 778. Dinyatakan dengan persamaan didapatkan hubungan :

$$Q = \frac{W}{J} \quad (2-11)$$

$$W = Q \times J \quad (2-12)$$

Di mana :

Q = Jumlah energi panas (BTU)

W = Energi mekanik atau kerja (ft-lb)

J = Energi mekanik ekivalen panas

Contoh 2-17 :

Konversikan 36.000 ft-lb energi mekanik ke dalam energi panas.

Jawab : Gunakan persamaan 2-11

$$Q = \frac{36.000}{778} = 46,3 \text{ BTU}$$

Contoh 2-18 :

Nyatakan 12 BTU energi panas sebagai kerja dalam satuan energi mekanik.

Jawab : Gunakan persamaan 2-12

$$W = 12 \times 778 = 9336 \text{ ft-lb}$$

SOAL-SOAL

1. Thermometer Fahrenheit dibaca 85 °F. Berapa temperatur dalam derajat centigrade (celcius). *Jawab : 29,44 °C.*
2. Konversikan 90 ° Centigrade ke derajat Fahrenheit. *Jawab : 194 °F.*
3. Tempartur gas adalah 40 °F. Berapa temperatur gas pada skala Rankin ? *Jawab : 500 °R*
4. Temperatur uap suction masuk ke kompresor refrigerasi pada -20 °F. Berapa temperatur uap dalam derajat Rankin ? *Jawab : 440 °R.*
5. 30 galon air dipanaskan dari 75 °F menjadi 180 °F. Hitung jumlah panas yang dibutuhkan ? *Jawab : 24.240 BTU.*

6. Dalam beberapa proses industri, 5000 galon air didinginkan dari 90 °F menjadi 55 °F setiap jam. Hitunglah jumlah panas yang harus dibuang setiap jam untuk menghasilkan dingin yang diperlukan ? *Jawab : 1.457.750 BTU.*
7. Hitunglah jumlah panas yang harus dibuang dari 60 galon supaya air dingin dari 42 °F dan membeku mejadi es pada 32 °F ? *Jawab : 77.000 BTU*
8. Jika 12.120 BTU ditambahkan kepada 3 galon air pada 200 °F. Berapakah bagian air dalam lb yang akan menguap ? *Jawab : 9,4 lb atau 1,13 galon.*
9. 25 lb es ditempatkan dalam 10 galon air dan dibolehkan mencair. Diasumsikan bahwa tidak ada kehilangan panas disekelilingnya, jika temperatur awal air 80 °F, Temperatur berapa yang akan mendinginkan air oleh mencairnya es ? *Jawab : 35,7 °F.*
10. Gas mengembang dalam silinder sebesar 25.000 ft-lb kerja pada piston. Hitunglah jumlah panas yang dibutuhkan untuk melakukan kerja ? *Jawab : 32,13 BTU.*