

BAB I

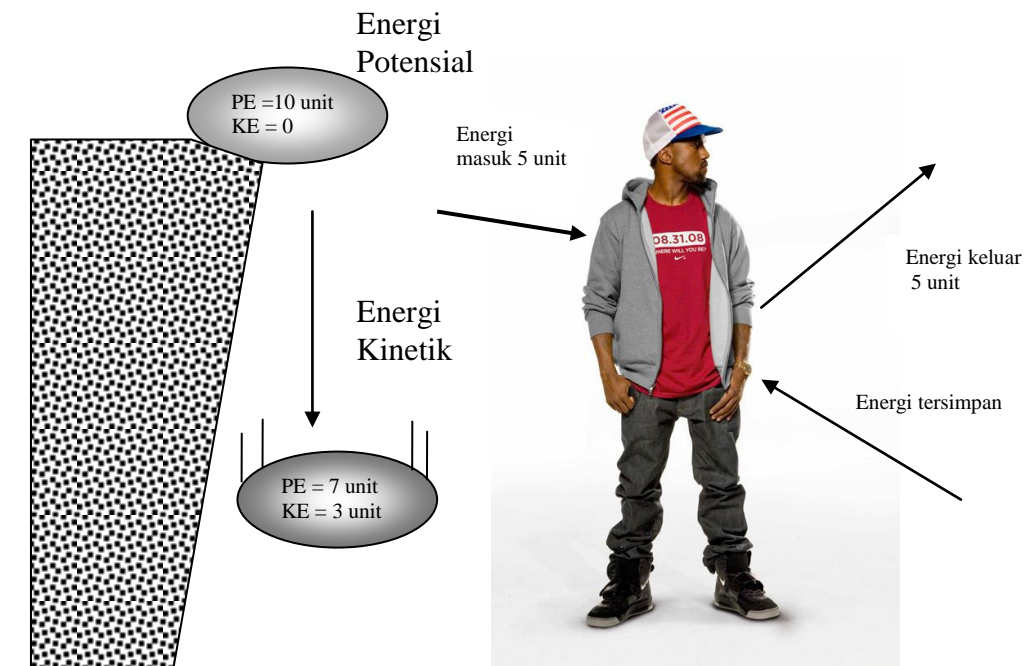
KONSEP DASAR TERMODINAMIKA

Pada Bab ini akan mempelajari sistem yang menggunakan konsep dasar dari termodinamika seperti sistem energi, sifat, wujud, proses, siklus, tekanan, dan temperatur akan diterangkan lebih rinci.

A. Termodinamika dan Energi

Termodinamika dapat didefinisikan sebagai ilmu dari energi. Meskipun setiap orang dapat merasakan keberadaan energi, tetapi sangat sulit untuk memberikan definisi secara seksama mengenai energi tersebut. Energi dapat kita katakan sebagai kemampuan yang telah dikerjakan atau perubahan yang diakibatkan.

Salah satu asas yang berkaitan dengan energi adalah hukum kekekalan energi. Ini merupakan wujud yang sangat sederhana dari setiap penggunaan energi. Energi dapat berubah dari suatu energi yang satu ke bentuk energi yang lain tetapi jumlah total dari energi tersebut tetap. Energi dapat dikatakan tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan. Sebagai contoh sebuah batu yang dijatuhkan dari sebuah tebing, batu yang dijatuhkan akan bertambah kecepatannya dan mengubah bentuk energi potensial menjadi energi kinetik, dengan energi potensial yang berasal mengangkat batu keatas tebing. Contoh lain dari kekekalan energi ini adalah pada tubuh manusia, manusia mengkonsumsi makanan dan mengubahnya menjadi energi untuk menyangga tubuh dan melakukan aktifitas. Jika seseorang memiliki input energi yang lebih besar dari pada pengeluaran energi (lebih banyak makan dari pada aktifitasnya) maka energi tersebut akan disimpan dalam bentuk lemak (menjadi gemuk). Seseorang yang mengeluarkan energi lebih banyak untuk aktifitasnya tanpa diimbangi makan yang cukup maka energi akan diambilkan melalui lemak (energi tersimpan) dan orang tersebut akan menjadi lebih kurus.



Gambar 1. Kekekalan Energi

Termodinamika membahas konversi energi dari energi yang satu ke bentuk energi yang lain. Ini juga bermacam-macam sifat dari sebuah substansi dan perubahan sifat setiap substansi yang berakhir ke dalam bentuk perpindahan energi. Termodinamika seperti ilmu pengetahuan yang lain berdasarkan pada observasi percobaan. Setiap penemuan dari observasi/percobaan dijadikan sebagai dasar hukum. Contoh dari hukum tersebut adalah hukum pertama termodinamika yang membahas kekekalan energi. Hukum kedua termodinamika membahas mengenai aturan suatu proses yang telah pasti, namun tidak berlaku untuk kebalikannya. Sebagai contoh kita meletakkan secangkir minuman dingin pada sebuah meja maka berangsur-angsur minuman tersebut akan dingin, tetapi minuman dingin yang diletakkan dalam satu meja tidak akan jadi panas dari minuman tersebut.

Termodinamika muncul tahun 1700 ketika mesin uap pertama di Inggris dibuat oleh T.Savery & T.Newcomen. Istilah termodinamika pertama digunakan dalam publikasi oleh Lord Kelvin di tahun 1849. Buku teks termodinamika pertama ditulis di tahun 1859 oleh W.Rankine seorang guru besar Universitas Glasgow. Selanjutnya termodinamika maju pesat di tahun 1900-an dengan ditemukan berbagai ilmu dan teori yang berkaitan dengan pengembangan dari ilmu tersebut.

Kita mengetahui bahwa suatu zat terdiri dari banyak partikel yang disebut dengan molekul. Sifat alami dari suatu zat tergantung dari karakteristik setiap partikel. Sebagai contoh adalah tekanan yang terjadi pada gas yang terdiri dari perpindahan momentum yang terjadi antara molekul gas dengan dinding wadah penampung gas tersebut.

Tetapi kita tidak mengetahui perilaku partikel gas yang ada di dalam wadah tersebut. Tetapi jika ingin mengetahui berapa banyak partikel dapat menempatkan pengukur tekanan pada wadah penampung gas. Pendekatan ini disebut pendekatan *macroscopic* dimana kita tidak dituntut pengetahuan tentang kelakuan dari partikel dan pendekatan ini sering disebut dengan termodinamika klasik. Prinsip ini dapat diterapkan secara langsung dan mudah dalam pemecahan masalah teknik. Sedangkan termodinamika statistik diharuskan mempelajari perilaku partikel secara lebih rinci.

Setiap aktivitas teknik melibatkan interaksi energi dan zat, sudah pasti akan melibatkan termodinamika disetiap kejadian/proses aktivitas teknik tersebut. Dalam penerapannya termodinamika dapat diterapkan dalam skala luas maupun sempit. Dalam skala sempit termodinamika diaplikasikan dalam peralatan rumah seperti pengatur suhu ruangan, sistem pendingin, pemasak bertekanan (pressto), pemanas air, shower, setrika, komputer, dan TV. Dalam skala besar termodinamika diaplikasikan dalam beberapa bagian dari sebuah desain seperti mesin otomotif, roket, mesin jet, dan pembangkit tenaga. Manusia juga termasuk bagian dari termodinamika yang ada pada tubuh manusia.



Gambar 2. Penerapan Termodinamika

B. Dimensi dan Satuan

Dimensi dapat diartikan sebagai beberapa karakteristik fisik. Karakteristik fisik yang menyusun dimensi disebut dengan satuan (unit). Dimensi dasar/primer meliputi massa (M), panjang (L), waktu (s) dan temperatur (T). dimensi sekunder/turunan merupakan

gabungan dari beberapa dimensi primer, contoh dari dimensi sekunder adalah kecepatan (v), energi (E), volume (V), dan lain sebagainya.

Satuan dari suatu sistem atau zat sangat beragam dari tahun ketahun. Ini menyebabkan terdorongnya dibuatnya sistem yang lebih mudah untuk penyamaan sistem satuan untuk dunia teknik dengan sistem tunggal. Saat ini terdapat dua sistem satuan yang biasa digunakan. Sistem Inggris yang kita kenal dengan *United States Customary System* (USCS) dan SI (*Lê Systeme International d'Unites*) juga dikenal dengan sistem internasional. Sistem SI merupakan sistem yang sederhana dan logis sebab sistem SI berdasarkan pada angka desimal untuk membedakan tingkatan bermacam-macam tiap satuan. Sistem SI biasa digunakan sebagai standar pada sistem industri maupun dunia teknik dalam melakukan sebuah pekerjaan. Sistem Inggris merupakan sistem satuan yang rumit sebab tidak berdasarkan pada desimal untuk membedakan tingkatan tiap satuan. Perbandingan sistem Inggris tidak sebanding antara satu dengan yang lainnya (12 inchi sama dengan 1 Ft, 16 Onz sama dengan 1lb, 4qt sama dengan 1 gal)

<i>Precise</i>	<i>Multiply</i>
Tera, T	10^{12}
Giga, G	10^9
Mega, M	10^6
Kilo, k	10^3
Meter, m	10
Mili, mm	10^{-3}
Micro, μ	10^{-6}
Nano, n	10^{-9}
Pico, p	10^{-12}

Penggunaan SI berdasarkan pada kelipatan desimal antara tingkatan satuan. Seperti yang terlihat pada tabel diatas dimana merupakan standar bagi seluruh satuan sehingga akan mempermudah dalam mengingatnya.



Gambar 3. Perbandingan tingkatan pada satuan SI

1. Satuan SI dan Inggris

Bentuk dasar dari satuan SI terdiri dari satuan primer yang terdiri dari berat panjang dan waktu dengan satuan kilogram (kg), meter (m), dan detik (s). Sedangkan satuan pada sistem Inggris adalah Pound – massa (lbm), foot (ft), dan Second (s atau sec). satuan berat dan panjang dapat diasosiasikan antar sistem Inggris dan SI

$$1 \text{ lbm} = 0,45359 \text{ kg}$$

$$1 \text{ ft} = 0,3040 \text{ m}$$

Pada sistem Inggris, gaya biasanya terdiri-dari beberapa dimensi primer dan terkadang penggabungan antara dimensi primer dengan dimensi sekunder dengan satuan yang berbeda. Ini sering mengakibatkan kesalahan di setiap perhitungan sebab dengan adanya faktor konversi (gc) untuk sebab itu gaya dimasukkan dalam dimensi turunan satuan SI sesuai yang telah didefinisikan dalam hukum Newton II.

$$\text{Force} = (\text{mass})(\text{acceleration})$$

$$F = m.a$$

Pada sistem SI satuan gaya adalah Newton (N), yang didefinisikan sebuah gaya membutuhkan berat dan akselerasi dengan berat 1 kg dan kecepatan akselerasi 1m/s^2 . Dalam sistem Inggris satuan gaya adalah pound-force (lbf) dan didefinisikan gaya terdiri dari berat dan akselerasi dengan berat 32,174 lbm (1 slug) pada akselerasi 1 ft/s^2 .

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

$$1 \text{ lbf} = 32,174 \text{ lbm.ft/s}^2$$

Kesalah pahaman mengenai gaya sering diartikan sebagai berat. Angkat yang tertera atau ditunjukkan pada timbangan badan bukanlah berat tubuh manusia/benda. Hal ini sejalan dengan hukum Newton II

$$W = m.g$$

Dimana m adalah massa dari tubuh/benda dan g adalah kecepatan gravitasi lokal ($g = 9,807 \text{ m/s}^2$ atau $32,174 \text{ ft/s}^2$ pada permukaan air laut dan garis lintang 45°)



Gambar 4. Timbangan Gaya

Angka yang tertera pada timbangan badan sebenarnya terpengaruh dengan gravitasi lokal. Apabila kita bawa timbangan ke bulan dan menimbang tubuh kita maka hasilnya akan berbeda saat kita menimbang di bumi.

2. Homogenitas Satuan

Kita tidak bisa merasakan rasa buah apel dan buah jeruk dalam waktu yang sama saat kita makan, tetapi kita dapat memakannya. Di dalam dunia teknik semua penjumlahan haruslah dalam dimensi yang homogen agar dapat dikerjakan. Ini berarti sesuatu yang akan dikerjakan harus memiliki dimensi dan satuan yang sama. Jika kita menemui tingkatan dan dimensi yang berbeda maka kita telah melakukan kesalahan di awal perhitungan, maka untuk mengatasi hal ini adalah dengan melakukan pengecekan satuan untuk menghindari kesalahan.

Contoh 1.

$$E = 25 \text{ kJ} + 7 \text{ kJ/kg}$$

Jawaban:

Terlihat bahwa satuan energi yang akan dijumlahkan adalah berbeda, hal yang dilakukan agar dapat dilakukan penjumlahan adalah dengan mengecek ulang satuan tersebut dan mempertimbangkan faktor (gc).

Contoh 2:

Sebuah tangki berisi minyak dengan rapat jenis $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$, jika volume tangki adalah 2 m^3 dengan terisi minyak secara penuh, berapakah massa minyak yang ada didalam tangki ?

Jawaban

Oil $V = 2 \text{ m}^3$ $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ $m = \dots?$

Apabila kita lupa rumus hubungan antara massa, massa jenis, dan volume. Yang perlu kita perhatikan bahwa satuan massa (berat adalah kilogram. Dengan demikian kita dapat mengerjakan soal ini dengan jawaban akhir dengan satuan kilogram

$$\rho = 850 \text{ kg/m}^3 \qquad V = 2 \text{ m}^3$$

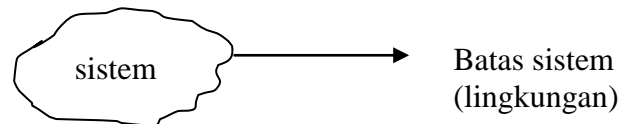
langkah yang kita lakukan adalah bagaimana agar m^3 hilang sehingga yang tertinggal adalah kg dari penggabungan tersebut

$$m = \rho \cdot V$$

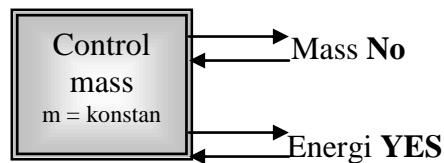
$$m = (850 \text{ kg/m}^3)(2 \text{ m}^3) = 1700 \text{ kg}$$

C. Sistem Tertutup dan Terbuka

Sistem didefinisikan sebagai "*quantity of matter or a region in space chosen for study*". Bagian luar dari daerah (*region*) disebut dengan lingkungan (*surrounding*). Permukaan yang tampak nyata memisahkan antara sistem dengan lingkungan disebut dengan batas sistem.

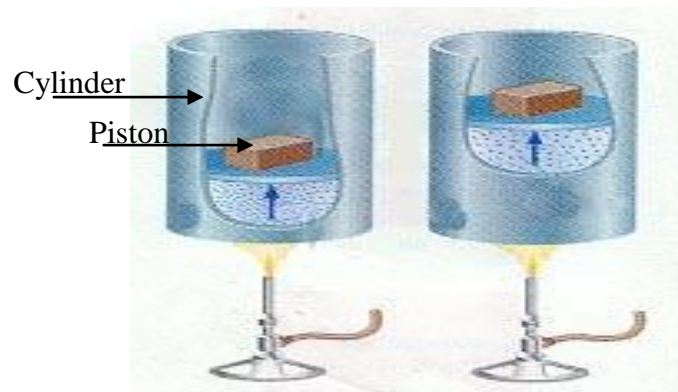


Sistem dapat berupa sistem tertutup maupun sistem terbuka, bergantung dari massa yang tetap atau volume yang tetap pada suatu ruang yang kita pelajari. Sistem tertutup juga dikenal dengan sistem **massa atur** (*control mass*) berisi sejumlah masa yang tetap dan tidak ada massa yang dapat melewati batas sistem. Disini tidak ada massa yang meninggalkan atau memasuki sistem tertutup. Akan tetapi, energi yang bekerja dapat melewati batas sistem, dan volume pada sistem tertutup menjadi tidak tetap. Pada kasus khusus energi tidak dapat melewati batas sistem, sistem ini disebut dengan sistem isolasi.



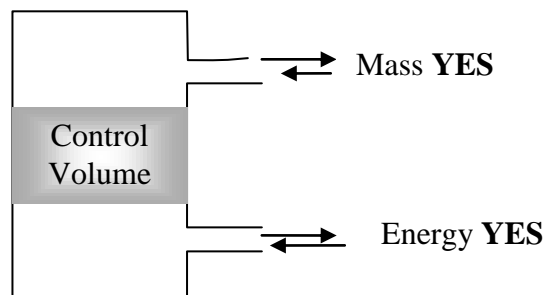
Gambar 5. Sistem Tertutup

Percobaan pada piston-cylinder yang ditunjukkan pada gambar dibawah, kita ingin mengetahui hal yang terjadi pada gas yang tertutup yang dipanaskan. Kita konsentrasikan perhatian pada gas yang ada di sistem ini. Permukaan dalam dari piston dan silinder adalah batas dari sistem ini dan tidak ada massa yang dapat melewati sistem karena ini adalah sistem tertutup. Lain halnya dengan energi, energi dapat melewati batas sistem dan bagian batas sistem (dalam gambar ini adalah piston) dibuat dapat bergeser, dan gas yang ada diluar silinder disebut dengan lingkungan.



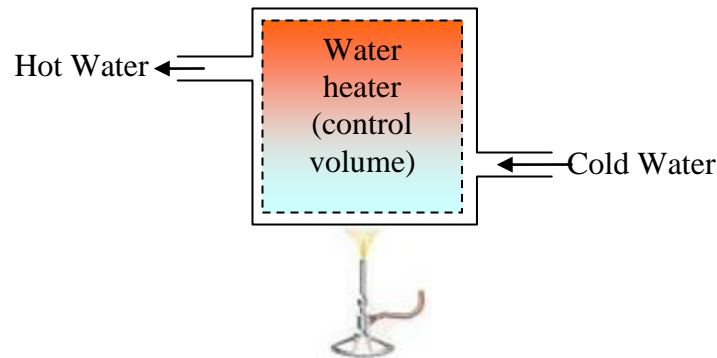
Gambar 6. Energi yang dapat memasuki sistem tertutup

Sistem terbuka atau volume ajar merupakan sifat yang ada pada suatu sistem yang memiliki aliran massa seperti kompresor, turbin, atau nozzle. Aliran massa yang ada pada peralatan tersebut terjadi karena peralatan tersebut mengatur volumenya. Massa dan energi yang ada pada sistem terbuka keduanya dapat melewati batas dari sistem terbuka dimana disebut dengan *control surface*.



Gambar 7. Sistem Tertutup

Sebagai contoh pada sistem terbuka adalah pada sistem pemanas air, kita menginginkan panas yang ada pada air dengan mengalirkan air kedalam tangki pemanas dengan stabil. Air yang panas akan meninggalkan tangki dan digantikan oleh air yang dingin dan berlangsung terus menerus. Volume air yang ada pada tangki pemanas terdiri dari air dingin dan air yang sudah panas. Air yang telah membawa energi panas akan ke luar sistem dan air dingin dengan pergerakan massa akan memasuki sistem untuk menyerap energi.



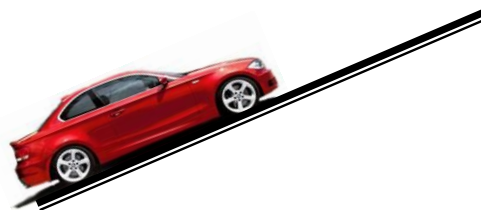
Gambar 8. Pemanas Air

D. Bentuk Energi

Energi dapat ada dalam berbagai bentuk misalnya : panas, mekanik, kinetik, potensial, elektrik, magnetic, kimia, dan nuklir. Semuanya dapat disatukan dengan menjadikan sebagai energi total E dari sebuah sistem. Energi total dari sebuah sistem pada satuan dasar massa dinotasikan dengan e dan didefinisikan

$$e = \frac{E}{M}$$

Didalam termodinamika tidak ada energi yang absolut melainkan perubahan energi total dari sebuah sistem. Dimana total perubahan energi tersebut bernilai nol ($E=0$) terhadap suatu titik acuan. Sebagai contoh pada pengurangan energi potensial pada batu yang terjatuh ditentukan pada perbedaan elevasi saat batu terjatuh dari titik acuan. Analisis termodinamika dipandang dalam 2 bentuk yaitu *macroscopic* dan *microscopic*. Bentuk energi *macroscopic* adalah perubahan energi kinetik yang lain seperti energi kinetik dan energi potensial.

Gambar 9. Energi *Macroscopic* mengubah kecepatan melewati tanjakan (kenetik ke potensial)

Bentuk energi *microscopic* terjadi pada struktur molekul dan aktivitas yang terjadi di dalamnya tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor luar. Bentuk energi disebut juga dengan **energi dakhil** (*internal energy*) dari sebuah sistem yang dianotasikan dengan u .

Energi *macroscopic* pada sebuah sistem biasanya dipengaruhi oleh faktor luar semacam gravitasi, medan magnet, medan listrik, dan

gesekan. Salah satu contoh energi *macroscopic* adalah pada energi kinetik

$$KE = \frac{V^2}{2} \text{ (kJ)}$$

atau berdasarkan pada satuan massa

$$ke = \frac{v^2}{2} \text{ (kJ/kg)}$$

dimana V adalah notasi dari kecepatan sebuah sistem yang bergerak dengan tetap.

Contoh lain dari energi *macroscopic* adalah pada energi potensial. Energi terjadi karena adanya gaya gravitasi dengan ketinggian benda atau sistem. Energi potensial disimbolkan dengan PE.

$$PE = m.g.z \text{ (kJ)}$$

atau pada satuan massa

$$pe = g.z \text{ (kJ/kg)}$$

dimensi g adalah percepatan gravitasi dan z adalah elevasi terhadap pusat gravitasi dan sistem dengan acuan yang dipilih.

Kemagnetan, elektrik dan tegangan permukaan, adalah akibat yang signifikan dari beberapa kasus khusus dan dicantumkan dalam tulisan saja pada pemecahan masalah teknik sederhana. Ketidakhadiran faktor ini, energi total dikategorikan dalam kinetik, potensial, dan *internal energy*.

$$E = U + KE + PE = U + \frac{mV^2}{2} + m.g.z \text{ (kJ)}$$

atau berdasar pada satuan massa

$$e = u + ke + pe = u + \frac{v^2}{2} + g.z \text{ (kJ/kg)}$$

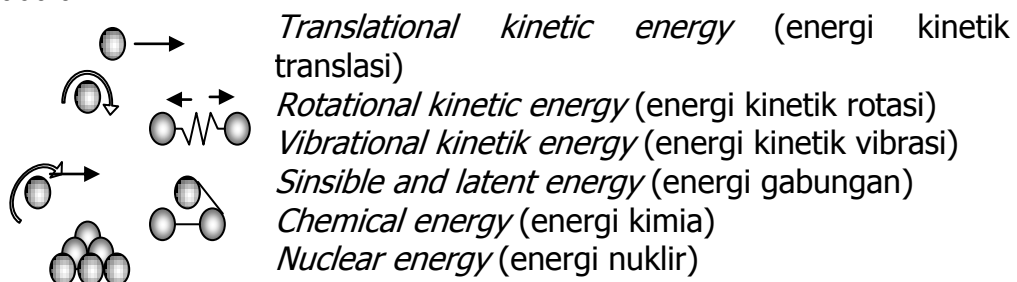
pada sistem tertutup terdapat *stationary* sistem

$$\Delta k.e = 0 ; \Delta p.e = 0$$

$$\Delta E = AU$$

Pengertian Fisik Energi *Dakhil* (*Internal Energy*)

Energi *Dakhil* adalah jumlah semua bentuk energi mikroskopis dari sistem. Adapun bentuk dari energi *Dakhil* yang ada pada molekul adalah :



E. Watak Sistem

Karakteristik dari sebuah sistem disebut dengan "*property*", beberapa contoh yang tidak asing lagi adalah tekanan (P), Temperatur(T), Volume(V), massa(m), dan dapat lagi ditambah contoh lain yaitu Viskositas(μ), konduktivitas termal(k), modulus elastisitas(E), koefisien ekspansi linear(α) dan tahanan listrik(R).

Tidak semua *property independent*, sebagai contoh adalah rapat massa density didefinisikan massa per volume

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (kg/m}^3 \text{)}$$

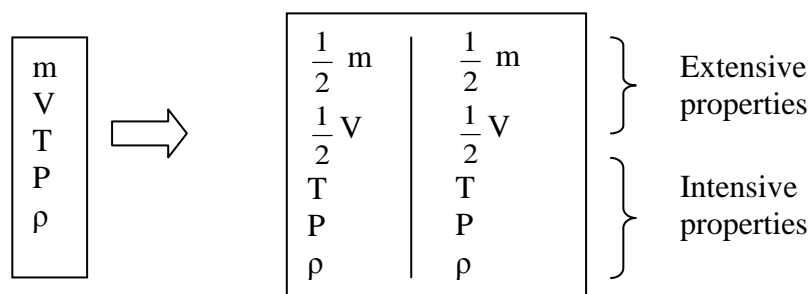
Terkadang *density* dari suatu zat dibuat secara relatif untuk kemudahan dalam pengetahuan zat. Kemudian disebut dengan spesifik gravitasi atau relatif density dan didefinisikan dalam keadaan relatif standar (biasanya air pada suhu 4°C dengan $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$)

$$p = \frac{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}{e_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Property terdapat 2 macam yaitu *Intensive property* dan *Extensive property*. *Intensive property* adalah *property* yang tidak tergantung ukuran sistem. Contoh dari intensive property adalah temperatur, tekanan rapat massa. *Extensive property* adalah property yang langsung bervariasi terhadap ukuran sistem. Contoh dari *Extensive property* adalah massa, volume, total energi.

ρ (kg/m ³)	m (kg)
V (m ³ /kg)	V (m ³)
E (kj/kg)	E (kj)
μ (kj/kg)	U (kj)
<i>Intensive Property</i>	<i>Extensive Property</i>

Cara mudah untuk menentukan property apakah itu *intensive property* atau *Extensive property* dengan membagi pada partisi yang sama seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini

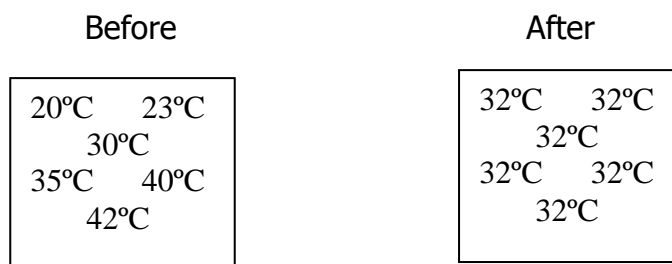


Gambar 10. Cara Menentukan *Property*

Biasanya, huruf kecil di bawah yang ada di belakang huruf biasanya menotasikan *extensive property* dan huruf besar digunakan untuk *intensive property*. *Extensive property* per satuan unit massa disebut dengan *specific properties*. Beberapa contoh dari *specific properties* adalah *specific volume* ($v = \frac{V}{m}$), *specific energi* ($e = \frac{E}{m}$), dan *specific internal energy* ($u = \frac{U}{m}$).

F. Keadaan dan Keseimbangan

Maksud dari keseimbangan adalah kumpulan *properties* yang memaparkan kondisi sistem. Sedangkan keseimbangan adalah "balance" dari *properties*. Hal-hal yang termasuk dalam keseimbangan adalah *Thermal*, *Mechanical*, *Phase*, dan *Chemical*. Contoh dari keseimbangan *thermal* dapat dilihat pada gambar di bawah ini

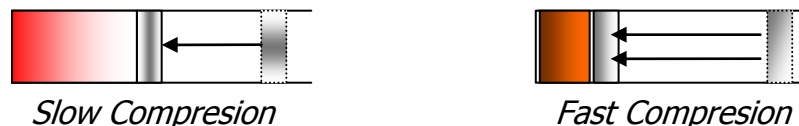


Gambar 11. Sistem tertutup keseimbangan thermal

G. Proses dan Daur/Siklus

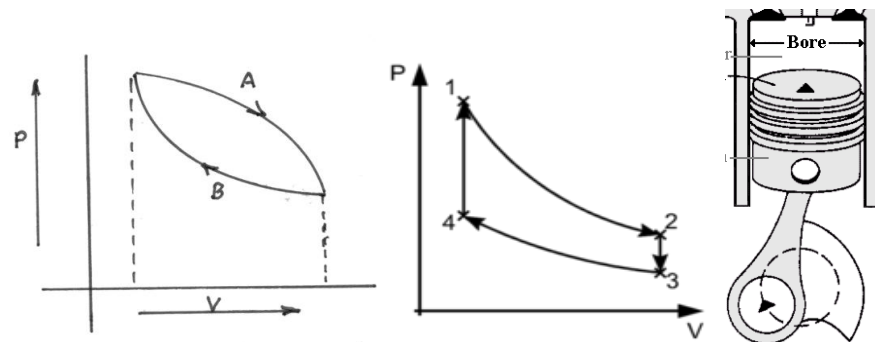
Proses adalah perubahan dalam suatu sistem dari satu keadaan seimbang ke keadaan seimbang lainnya. Didalam proses terdapat jalur (*path*) yaitu sederetan keadaan sistem selama proses.

Proses *path* yang terjadi pada keadaan 1 sampai keadaan 2 terjadi proses ideal disebut dengan *Quasi-Static* atau *Quasi-equilibrium* yaitu keadaan dan proses dalam suatu sistem yang digambarkan /diandaikan berlangsung perlahan-lahan (setiap titik seimbang).



Gambar 12. *Quasi equilibrium* dan *Non Quasi Equilibrium*

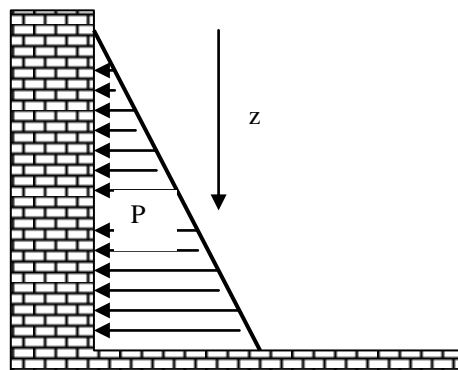
Siklus adalah suatu proses sistem yang mampu kembali ke keadaan awal pada akhir proses.



Gambar 13. Siklus

H. Tekanan / Pressure

Tekanan adalah gaya yang diberikan oleh Fluida persatuan luas. Dalam istilah tekanan dikategorikan dalam 2 jenis berdasarkan pada penyebab tekanan. Tekanan yang disebabkan oleh gas atau *pressure* disebut dengan **pressure** dan tekanan yang disebabkan oleh zat padat disebut dengan **stress**.



Gambar 14. Tekanan yang disebabkan Fluida meningkat sebanding dengan kedalaman

Satuan tekanan adalah N/m^2 atau pascal (Pa)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Mpa} = 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0,1 \text{ Mpa} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 14,496 \text{ psi (lbf/in}^2\text{)}$$

Tekanan mutlak (absolut) adalah tekanan aktual pada suatu posisi tertentu yang diukur relatif terhadap volume absolut, yaitu tekanan nol absolut.

$$P_{\text{gage}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}} \quad (P > P_{\text{atm}})$$

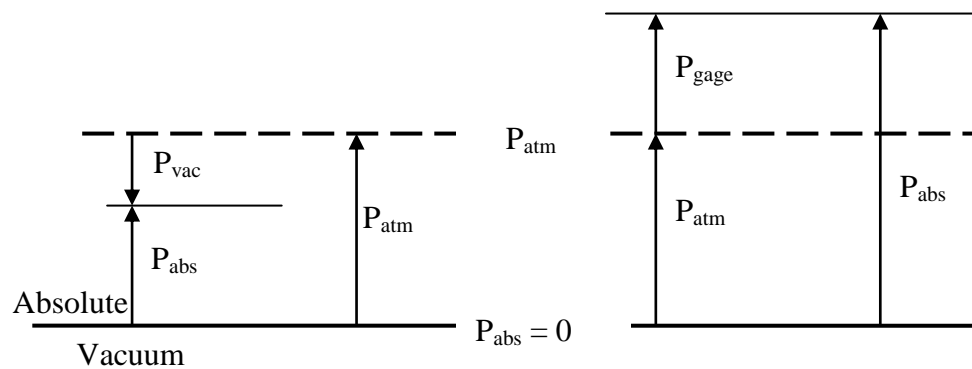
$$P_{\text{vac}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}} \quad (P < P_{\text{atm}})$$

Kebanyakan alat ukur tekanan menunjukkan atau dikalibrasikan terbaca nol pada tekanan atmosfer, dan biasanya mengindikasikan perbedaan

tekanan dengan tekanan atmosfer. Perbedaan ini disebut dengan *gage pressure*. Tekanan yang ada dibawah tekanan atmosfer disebut *Vacuum pressure*.



Gambar 14. Pengukuran tekanan terbaca nol pada tekanan atmosfer



Gambar 15. *Absolute dan Vacuum Pressure*

Contoh :

Pengukur *Vacuum* disambungkan pada suatu tabung terbaca 5,8 psi pada lokasi dimana tekanan atmosfer 14,5 psi. Tentukan absolut dalam tabung !

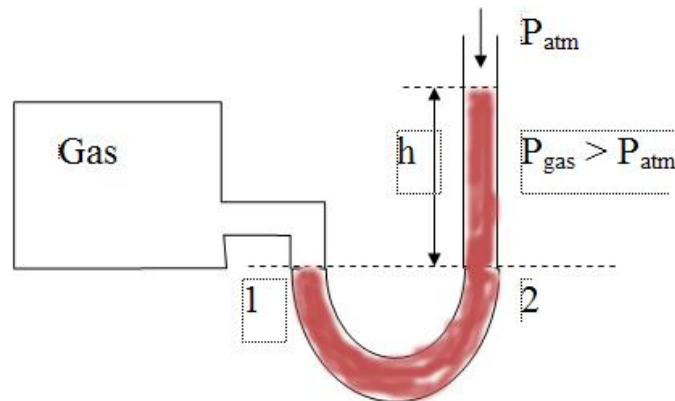
Jawab :

$$\begin{aligned} P_{\text{abs}} &= P_{\text{atm}} - P_{\text{vac}} \\ &= (14,5 - 5,8) \text{ psi} \\ &= 8,7 \text{ psi} \end{aligned}$$

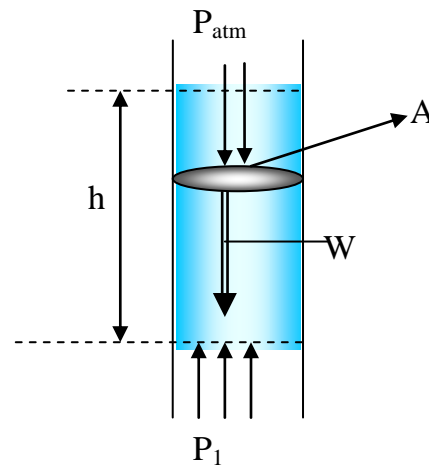
Dalam persamaan termodinamika dan tabel-tabel hampir selalu digunakan tekanan absolut.

1. Manometer

Manometer adalah alat perbedaan tekanan yang kecil dan sedang terdiri dari pipa U kaca atau plastik yang berisi : air raksa, air, alkohol, atau minyak. Untuk mengantisipasi perbedaan tekanan yang besar dan agar manometer tetap terbaca biasanya digunakan fluida berat seperti air raksa.



Gambar 16. Konsep Dasar Manometer

Gambar 17. *Free body* diagram kolom ketinggian fluida.

Keseimbangan

$$AP_1 = P_{atm} + W$$

$$W = m \cdot g = \rho \cdot A \cdot h \cdot g$$

$$P_1 = P_{atm} + \rho \cdot h \cdot g$$

W = berat koom fluida

ρ = densitas fluida (konstan)

A = luas pipa

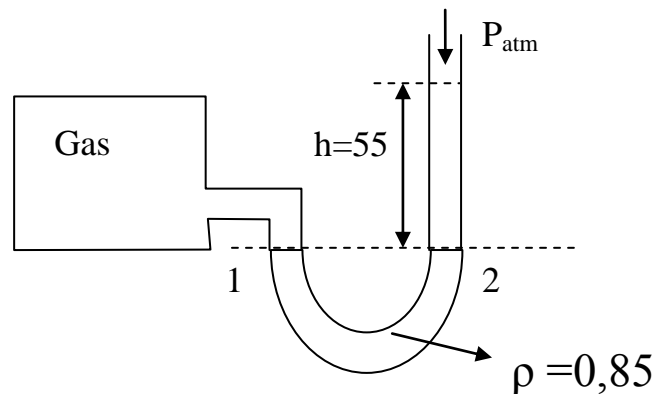
$$\Delta P = P_1 - P_{atm}$$

$$= \rho \cdot h \cdot g$$

Contoh :

Manometer digunakan untuk mengukur tekanan dalam tangki, fluida yang digunakan mempunyai rapat jenis 0,85 dan tinggi kolom manometer 55cm. Bila tekanan atmosfer di tempat tersebut 96 kPa, hitunglah mutlak dalam tangki !

Jawab :



Percepatan gravitasi g diambil = $9,807 \text{ m/dt}^2$, rapat massa fluida (ρ) dicari dari :

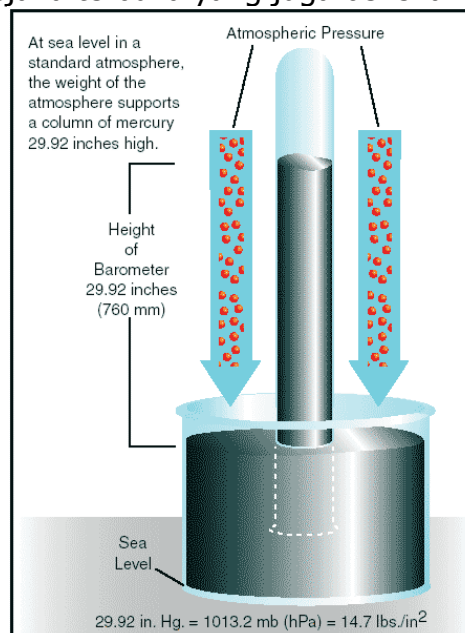
$$\begin{aligned}\rho &= (\rho_s) (\rho_{\text{H}_2\text{O}}) \\ &= (0,85)(1000 \text{ kg/m}^3) \\ &= 850 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= P_{\text{atm}} + \rho \cdot h \cdot g \\ &= \frac{96 \text{ kPa} + (850 \text{ kg/m}^3)(9,807 \text{ m/dt}^2)(0,55 \text{ m})}{1000 \text{ N/m}^2}\end{aligned}$$

$$= 100,6 \text{ kPa}$$

2. Barometer

Barometer adalah alat pengukur tekanan atmosfer, tekanan atmosfer disebut juga dengan tekanan barometrik. Menurut Torricelli (1608-1647) tekanan atmosfer diukur dengan membalik tabung berisi air raksa ke dalam bejana terbuka yang juga berisi air raksa.



Gambar 18. Barometer

P_B = Tekanan atmosfer

$P_A = 0$ (di atas C hanya uap air raksa , tekanannya diabaikan)

Berdasarkan keseimbangan gaya

$$P_{\text{atm}} = \rho \cdot h \cdot g$$

ρ = rapat massa air raksa

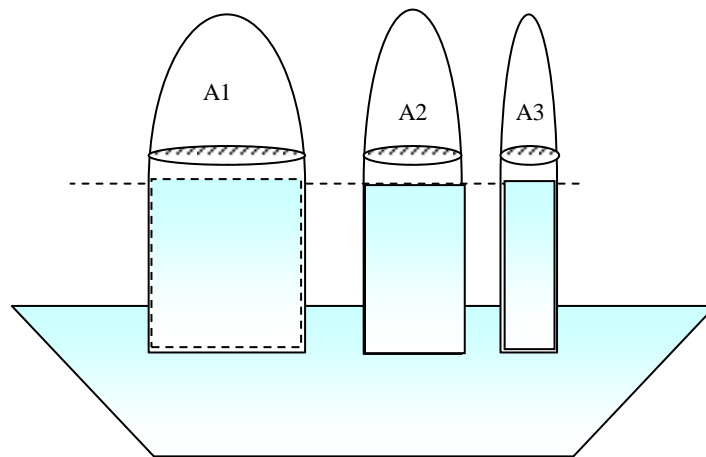
g = percepatan gravitasi

h = tinggi kolam air raksa di atas muka bebas

pada tekanan atmosfer standar, tekanan yang dihasilkan oleh kolam air raksa setinggi 760 mm pada suhu 0°C (atau suhu $29,92$ in)

($\rho_{\text{Hg}} = 13,595 \text{ kg/m}^3$) dan $g = 9,807 \text{ m/dt}^2$

Panjang tabung dan luas penampang tabung / pipa tidak berpengaruh pada tinggi kolam fluida dalam barometer.



Gambar.19 Perbedaan diameter tabung tidak ada efek terhadap tingginya raksa.

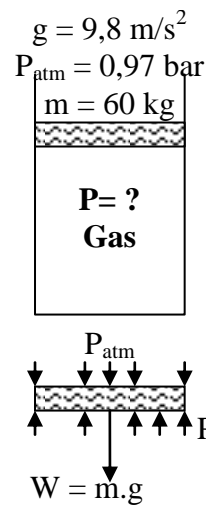
Contoh :

1. Hitunglah tekanan atmosfer di suatu tempat, barometer terbaca 740 mmHg dan $g = 9,7 \text{ m/dt}^2$. rapat massa Hg pada 10°C adalah 13570 kg/m^3 .

Jawab :

$$\begin{aligned} P_{\text{atm}} &= \rho \cdot g \cdot h \\ &= (13570 \text{ kg/m}^3)(9,7 \text{ m/dt}^2)(0,74 \text{ m}) \\ &= 97,41 \text{ kPa} \end{aligned}$$

2. Piranti silinder-tanah dengan massa tanah 60 kg dan luas penampangnya $0,04 \text{ m}^2$. tekanan atmosfer $0,97 \text{ bar}$ dan $g = 9,8 \text{ m/dt}^2$
 - a. Hitunglah tekanan dalam silinder !
 - b. Bila panas ditransfer ke gas dan volume membesar 2 kali apakah tekanan dalam silinder berubah ?



Jawab:

$$P \cdot A = P_{\text{atm}} A + W$$

$$P = P_{\text{atm}} + \frac{m \cdot g}{A}$$

$$P = 0,97 \text{ bar} + \frac{(60 \text{ kg})(9,8 \text{ m/dt}^2)}{0,04 \text{ m}^2 (10^5)} =$$

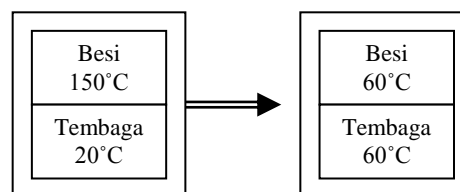
$$1,117 \text{ bar}$$

Perubahan volume tidak menyebabkan efek pada *free body* diagram diatas dan tekanan di dalam silinder tetap sama.

I. Suhu dan Hukum ke-0 Termodinamika

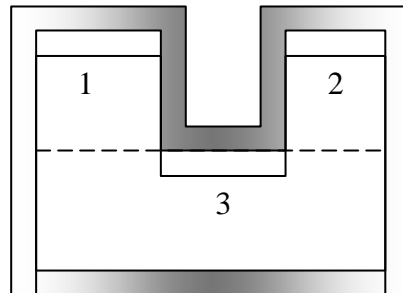
Meskipun pengertian suhu dinyatakan sebagai suatu ukuran "panas" (*hotness*) atau dingin (*coldness*), tetapi tidak mudah membuat definisi yang pasti. Berdasarkan standar fisiologis, tingkat tempertur secara kualitatif dinyatakan dengan : dingin sekali (*freezing cold*), dingin (*cold*), hangat (*warm*), panas (*hot*), dan panas membara (*red-hot*). Pernyataan tersebut sulit dibedakan, contoh kursi logam akan terasa lebih dingin dari kursi kayu meskipun pada suhu yang sama.

Beberapa properties berubah dengan berubahnya suhu dengan cara yang dapat diulang-ulang dan dapat diprediksikan, sehingga hal ini digunakan sebagai basis pengukuyran suhu yang akurat. Contoh penggunaan ini adalah pemakaian air raksa pada termometer kaca, didasarkan pada pemuaian air raksa karena suhu.



Gambar 20. Keseimbangan Termal

Dua benda memiliki keseimbangan termal setelah keduanya kontak, hal ini sejalan dengan hukum ke-nol termodinamika yang menyatakan bahwa bila kedua benda dalam keseimbangan termal terhadap benda ketiga, keduanya juga dala eseimbangan termal satu sama lain.



Bila
 $T_1 = T_3$ dan $T_2 = T_3$
 Maka
 $T_1 = T_2$

Gambar 21. Hukum Termodinamika Ke-Nol

Skala suhu dalam SI adalah Celsius yang ditemukan oleh astronomi Swedia A. Celsius dengan Skala (0-100°C). Skala suhu dalam sistem Inggris adalah Fahrenheit ditemukan oleh ahli alat-alat Jerman G. Fahrenheit dengan skala (32°-212°F).

Dalam termodinamika skala suhu menggunakan suhu mutlak, satuan SI adalah Kelvin yang ditemukan oleh Lord Kelvin

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

Dibulatkan 273

Dalam satuan Inggris adalah Rankine ditemukan oleh WJM Rankine

$$T(\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459,67$$

Dibulatkan 460

$$T(\text{R}) = 1,8 T(\text{K})$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8 T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$\Delta T(\text{K}) = \Delta T(^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta T(\text{R}) = \Delta(^{\circ}\text{F})$$

J. Kesimpulan

Pada bab ini telah dijelaskan mengenai konsep dasar termodinamika. Termodinamika adalah ilmu yang mempelajari energi. Hukum pertama termodinamika membahas konversi energi dari prinsip energi (prinsip konversi energi) dan hukum kedua menyatakan proses yang terjadi secara pasti pada energi.

Sistem yang memiliki massa tetap disebut dengan sistem tertutup atau massa tetap, dan sistem yang memungkinkan massa untuk melewati batas sistem disebut dengan sistem terbuka atau volume tetap. Massa yang tergantung pada properties sistem adalah extensive properties dan yang lain adalah intensive properties. Density adalah massa tiap satuan volume dan Spesifik volume adalah volume tiap satuan massa.

Jumlah total dari *internal energy* sistem disebut dengan energi total dimana terdiri dari energi internal/energi dalam, kinetik, dan potensial. Internal energi adalah energi yang terjadi pada sistem molekuler yang berbentuk sensible, latent, Chemical, dan Nuklir.

Sebuah sistem yang dapat dikatakan keseimbangan termodinamika adalah termal, mekanik, fase dan keseimbangan kimia. Perubahan dari keadaan 1 ke keadaan lain disebut proses. Sebuah proses yang identik berulang disebut dengan siklus. Selama Quasi-Static atau Quasi-Equilibrium proses, sistem akan terjadi keseimbangan partikel pada satu waktu.

Gaya tiap satuan luas disebut dengan tekanan, satuannya adalah pascal. Tekanan kecil sampai sedang dapat diukur dengan manometer, dan perbedaan tinggi pada kolom menunjukkan tekanan.

Hukum ke-Nol termodinamika menunjukkan bahwa dua buah zat yang memiliki termal yang equilibrium keduanya memiliki temperatur yang sama meskipun tidak ada kontak.

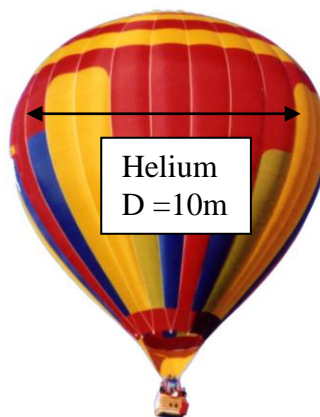
Skala temperatur dalam SI dan Inggris saat ini adalah skala celsius dan skala Fahrenheit. Suhu absolute dalam SI diskalakan dengan skala Kelvin dan Sistem Inggris diskalakan dengan Rankine.

$$\Delta T(K) = \Delta T(^{\circ}C)$$

$$\Delta T(R) = \Delta T(^{\circ}F)$$

K. Soal-Soal

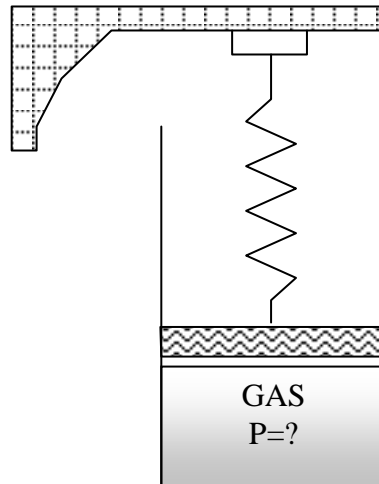
1. Seorang meletakan secangkir kopi hangat $80^{\circ}C$ diatas meja dengan suhu ruangan $25^{\circ}C$. Bagaimanakah hal tersebut dengan termodinamika?
2. 5 Kg tangki plastik dengan volume $0,2 \text{ m}^3$ diisi air. Asumsikan rapat massa air adalah $1000\text{kg}/\text{m}^3$ berapakah berat tangki yang berisi air?
3. Balon udara berisi gas helium seban beratnya hanya seperempat dari udara pada umumnya. Gaya untuk mengangkat balon adalah $F_b = \rho_{\text{udara}} \cdot g \cdot V_{\text{balloon}}$. jika diameter balon 10m membawa 2 orang dengan berat masing-masing 70 kg. berapakah akselerasi balon saat dilepaskan dengan mengabaikan beban pengangkut untuk manusia. $\rho_{\text{udara}} = 1,16 \text{ kg}/\text{m}^3$. Jawab $10,6 \text{ m}/\text{s}^2$



4. Energi yang terjadi didalam mesin mobil melepaskan ke udara dari radiator dengan sirkulasi air. Seharusnya radiator sebagai sistem terbuka atau sistem tertutup? Jelaskan



5. Definisi dari Isotermal, Isobaric, dan Isohoric?
6. Dalam suatu keadaan udara didalam sistem tertutup memiliki suhu dan tekanan secara menyeluruh. Jelaskan pernyataan tersebut!
7. Apa perbedaan gage pressure dan absolute pressure?
8. Pengatur tekanan dipasang pada tangki menunjukkan 50psi pada lokasi pada barometrik terbaca 29,1 mmHg. Berapakah absolute pressure didalam tangki? $\rho_{Hg}=848,4 \text{ lbm/ft}^3$. Jawab :64,29 Psia.
9. Sebuah vacuum gage dipasang pada tangki terbaca 30kpa pada lokasi terbaca barometrik 755 mmHg. Berapakah Absolute pressure di dalam tangki? $\rho_{Hg}=13590 \text{ Kg/m}^3$. Jawab 70,6Kpa
10. Barometer dapat digunakan untuk mengukur ketinggian gedung. Jika barometer terbaca pada atas dan bawah gedung adalah 730 dan 755 mmHg. Berapakah tinggi bangunan jika rapat massa udara adalah $1,18 \text{ Kg/m}^3$
11. Sebuah silinder yang tingginya 10 m separuhnya berisi air ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) dan separuh bagian atasnya berisi minyak dengan spesifik gravitasi 0,85. berapakah perbedaan tekanan bagian atas dan bawah silinder?
12. Sebuah ditemukan dalam piston silinder yang tanpa gesekan diletakkan secara vertikal. Piston dengan massa 5Kg dan luas are 25 cm^2 . sebuah pegas tekan diletakkan diatas piston menunjukkan gaya 75N. jika tekanan atmosfer adalah 98 Kpa tentukan tekanan di dalam silinder?



13. Dua buah alat didapat untuk mengukur tekanan yaitu manometer dan pressure gage. Jika terbaca pada pressure gage 80kpa. Tentukan jarak antara 2 level fluida pada manometer jika fluida tersebut adalah a. Mercury, b Air ($\rho=1000\text{kg/m}^3$)
14. termometer dengan alkohol dan merkuri terbaca 0°C pada titik beku dan 100°C pada titik didih. Jarak kedua pint di atas adalah 100. Apakah kedua termometer tersebut menunjukkan angka yang sama pada suhu 60°C ? Jelaskan!
15. Sistem temperatur menunjukkan peningkatan panas 45°F selama proses pemanasan. Berapakah peningkatan temperatur pada R, K, dan C?