

## MODUL 2

# PERSAMAAN KEADAAN

### PENDAHULUAN

Modul ini merupakan modul kedua dari mata kuliah Termodinamika yang menjelaskan tentang persamaan keadaan termasuk konsep keadaan kesetimbangan system, persamaan keadaan dan hukum gas ideal. Dengan mempelajari modul ini Anda akan lebih terampil menerapkan konsep-konsep yang ada didalamnya ke dalam pembelajaran di sekolah. Dalam termodinamika, suatu sistem termodinamik dikata tidak kekurangan dalam kesetimbangan termodinamik bila sistem tersebut tidak kekurangan dalam keadaan setimbang mekanis, setimbang termal dan setimbang secara kimia. Dalam kesetimbangan termodinamik, tidak tidak kekurangan kecenderungan bagi terjadi perubahan keadaan, adun bagi sistem maupun bagi lebih kurang yang terkaitnya.

Kesetimbangan mekanis terjadi apabila tidak tidak kekurangan gaya yang tak berimbang di segi dalam sistem, dan juga antara sistem dan lebih kurang yang terkaitnya. Dalam kesetimbangan termal, semua segi sistem bertemperatur sama, dan sistem juga memiliki suhu yang sama dengan lebih kurang yang terkaitnya. Dalam kesetimbangan kimia, suatu sistem tidak mengalami perubahan spontan dalam bentuk internalnya, seperti reaksi kimia. Sistem dalam kesetimbangan kimia juga tidak mengalami perpindahan materi dari satu segi sistem ke segi sistem lainnya, seperti difusi atau pelarutan. Bila ketiga syarat kesetimbangan tersebut tidak dipenuhi, maka sistem termodinamik dikata tidak kekurangan dalam keadaan tidak setimbang.

Pada kegiatan belajar ini akan kita pelajari bagaimana keadaan kesetimbangan system, persamaan keadaan dan hukum gas ideal. Dalam modul ini, akan disajikan tiga kegiatan belajar, yaitu:

1. Kegiatan Belajar 1 : Keadaan Kesetimbangan Sistem
2. Kegiatan Belajar 2 : Persamaan Keadaan Gas Ideal dan Gas Real
3. Kegiatan Belajar 3 : Hukum Gas Ideal

Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan memiliki kompetensi mampu menelaah definisi keadaan kesetimbangan sistem dan persamaan keadaannya, menguraikan persamaan keadaan system gas ideal dan gas real, menganalisis asumsi gas ideal, membuktikan hukum gas ideal (hukum Boyle, hukum Charles dan hukum Gay-Lussac), serta menganalisis besarnya energy dalam gas dengan logis, kritis, sistematis, dan inovatif. Secara lebih khusus lagi, Anda diharapkan dapat:

1. Ketepatan menelaah definisi keadaan kesetimbangan system
2. Membedakan berbagai jenis keadaan setimbang system
3. Ketepatan menelaah definisi persamaan keadaan system
4. Ketepatan menguraikan persamaan keadaan system gas ideal dan gas real
5. Ketepatan menganalisis asumsi gas ideal
6. Ketepatan membuktikan hukum gas ideal (hukum Boyle, hukum Charles dan hukum Gay-Lussac)
7. Ketepatan menganalisis besarnya energy dalam gas

Agar Anda memperoleh hasil yang maksimal dalam mempelajari modul ini, ikuti petunjuk pembelajaran berikut ini.

1. Sebelum membaca materi in yang mau dipelajari, bacalah bagian Pendahuluan modul ini, sampai Anda memahami betul apa, untuk apa, dan bagaimana mempelajari modul ini.
2. Bacalah bagian demi bagian, temukan kata-kata kunci dan kata-kata yang Anda anggap baru.
3. Carilah dan baca pengertian kata-kata tersebut dalam daftar kata-kata sulit dalam modul ini atau dalam kamus yang ada.
4. Tangkaplah pengertian demi pengertian dari isi modul ini melalui pemahaman sendiri, tukar pikiran dengan sesama mahasiswa, dan dosen Anda.
5. Mantapkan pemahanan Anda melalui diskusi dengan sesama teman mahasiswa.
6. Lakukan semua kegiatan yang diajarkan sesuai dengan petunjuk modul. Karena di dalam pembelajaran modul ini kita akan melakukan beberapa pengamatan dan percobaan.

## Kegiatan Belajar 1

### Keadaan Kesetimbangan Sistem dan Persamaan Keadaan Sistem

#### A. Keadaan Kesetimbangan Sistem

Suatu sistem dapat berada dalam keadaan setimbang atau tidak setimbang. Ada empat keadaan setimbang suatu sistem. Keempat keadaan setimbang tersebut adalah:

1. keadaan setimbang mekanis
2. keadaan setimbang kimiawi (chemis / kemis)
3. keadaan setimbang termal / termis
4. keadaan setimbang termodinamis.

#### 1. Keadaan Setimbang Mekanis

Suatu sistem dinyatakan berada dalam keadaan setimbang mekanis jika resultan gaya luar maupun resultan gaya dalamnya (gaya dachil) adalah nol. Ini berarti

$$\sum F = 0 \quad (2.1)$$

Dalam keadaan setimbang mekanis, suatu sistem dapat diam atau bergerak beraturan. Dalam arti bergerak lurus beraturan atau bergerak melingkar beraturan atau berotasi beraturan.

#### 2. Keadaan Setimbang Kemis

Suatu system akan berada dalam keadaan setimbang kemis (kimiawi) apabila:

- a. tidak mengalami perpindahan zat dari bagian satu ke bagian lainnya atau sistem tidak mengalami difusi
- b. tidak terjadi reaksi kimiawi yang dapat mengubah jumlah partikel semula
- c. tidak terjadi pelarutan
- d. tidak terjadi kondensasi serta
- e. komposisi dan konsentrasinya tetap,

Ini berarti sistem dinyatakan setimbang kemis (kimiawi), jika sistem tidak berubah dan tetap berada dalam keadaan semula.

### 3. Keadaan Setimbang Termis

Suatu sistem akan berada dalam keadaan setimbang termis dengan lingkungannya apabila:

- a. koordinat makro maupun mikronya tidak berubah walaupun kontak termal dengan lingkungannya melalui dinding diatermik
- b. harga koordinat makro maupun mikronya tidak berubah dengan perubahan waktu,

Oleh karena itu, suatu sistem disebut setimbang termis, jika harga koordinatnya tidak berubah dengan perubahan waktu.

### 4. Keadaan Setimbang Termodinamis

Apabila syarat-syarat kesetimbangan mekanis, kemis, dan termis terpenuhi, maka sistem berada dalam keadaan setimbang termodinamis. Dalam keadaan setimbang termodinamis, keadaan koordinat sistem maupun lingkungan sistem cenderung tidak berubah sepanjang masa. Jadi, pada dasarnya Termodinamika hanya mempelajari suatu sistem yang berada dalam kesetimbangan termodinamis.

Keadaan sistem yang setimbang termodinamis minimal ada dua, yaitu: sistem yang tertutup dan sistem yang terbuka. Suatu sistem dinyatakan tertutup, jika massa dan jumlah partikel sistem tetap. Ini berarti, jumlah mol sistem yang tertutup selalu tetap.

Sebaliknya, sistem dinyatakan terbuka, jika massa dan jumlah partikel sistem berubah-ubah harganya. Ini berarti, jumlah mol sistem yang terbuka selalu berubah-ubah.

Dalam keadaan setimbang termodinamis, ternyata

- a. setiap sistem tertutup dapat digambarkan oleh tiga koordinat sistem dari delapan koordinat yang dipunyainya
- b. semua eksperimen menunjukkan bahwa antara ketiga koordinat itu terdapat hubungan berikut.

$$f(x, y, z) = 0 \tag{2.2}$$

Ini berarti, dalam keadaan setimbang termodinamis, hanya dua diantara ketiga koordinat sistem yang merupakan variabel (ubahan) bebas. Pernyataan ini dapat dituliskan seperti persamaan 2.3.a, 2.3.b, dan 2.3.c. berikut.

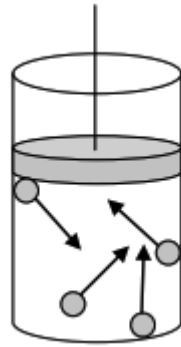
$$x = f(y, z) \quad (3.3.a)$$

$$y = f(z, z) \quad (3.3.b)$$

$$z = f(x, y) \quad (3.3.c)$$

Contoh:

Gas berada dalam silinder dengan koordinat sistem,  $G$  (energi bebas Gibbs dari gas),  $p$  (tekanan gas),  $H$  (entalpi gas),  $S$  (entropi gas),  $U$  (energi dalam gas),  $V$  (volume gas),  $F$  (energi bebas Helmholtz), dan  $T$  (temperatur gas).



Gambar 2.1. Partikel Gas dalam Silinder

Perhatikan tiga koordinatnya, misalnya:  $p$ ,  $V$ , dan  $T$ . Andaikan  $V$  dan  $T$  ditentukan terlebih dulu secara bebas, misalnya: gas dimasukkan dalam silinder dengan volume  $V$  dan dipanasi sampai temperturnya mencapai harga  $T$ , maka tekanan gas telah memiliki harga tertentu dan tidak dapat ditentukan secara bebas. Ini berarti:

$$p = f(V, T) \quad (2.4.a)$$

Andaikan  $p$  dan  $T$  ditentukan terlebih dulu secara bebas, misalnya: gas dimasukkan dalam silinder dengan tekanan  $p$  dan dipanasi sampai temperturnya mencapai harga  $T$ , maka volume gas telah memiliki harga tertentu dan tidak dapat ditentukan secara bebas. Ini berarti:

$$V = f(p, T) \quad (2.4.b)$$

Andaikan  $p$  dan  $V$  ditentukan terlebih dulu secara bebas, misalnya: gas dimasukkan dalam silinder dengan tekanan  $p$  dan ditekan sampai volumenya mencapai harga  $V$ , maka temperatur gas telah memiliki harga tertentu dan tidak dapat ditentukan secara bebas. Ini berarti:

$$T = f(p, V) \quad (2.4.c)$$

Dengan demikian, secara umum berlaku persamaan:

$$f(p, V, T) = 0 \quad (2.5)$$

Persamaan 2.5 merupakan persamaan keadaan gas atau persamaan keadaan sistem yang berada dalam keadaan setimbang termodinamis.

## **B. Persamaan Keadaan Sistem**

Ada beberapa sistem termodinamis (suatu sistem yang berada dalam keadaan setimbang termodinamis), yaitu:

1. Sistem Hidrostatik (Hidrostatik) atau Sistem Kimiawi (Kimiawi)
2. Sistem Paramagnetik (Paramagnetik).
3. Sistem Dielektris (Dielektrik).
4. Sistem Dawai yang Tegang.
5. Sistem Selaput Tipis.
6. Sistem Sel Listrik.

### **1. Sistem Hidrostatik**

Sistem hidrostatik merupakan zat kimia yang tidak diperhatikan sifat kelistrikannya, kemagnetannya, elastisitasnya, dan sifat tegangan permukaannya. Sistem hidrostatik ada dua, yaitu: zat murni dan zat tak murni. Contoh sistem hidrostatik adalah: gas, cairan, atau padatan.

Sistem hidrostatik disebut zat murni apabila terdiri atas satu senyawa kimia saja dan berada dalam keadaan setimbang termodinamis. Misalnya: Es ( $H_2O$ ), Air ( $H_2O$ ), Uap Air ( $H_2O$ ), Karbondioksida ( $CO_2$ ), Hidrogen ( $H_2$ ), Nitrogen ( $N_2$ ), atau Oksigen ( $O_2$ ). Karbondioksida, hidrogen, nitrogen, dan oksigen dapat berada dalam wujud padatan, gas, maupun cairan.

Sistem hidrostatik disebut zat tak murni apabila terdiri atas campuran zat murni yang berada dalam keadaan setimbang termodinamis. Misalnya: udara yang terdiri dari campuran oksigen, nitrogen, uap air, dan karbondioksida. Dalam udara masih ada beberapa jenis gas lagi, namun jumlahnya sedikit sekali, misalnya gas argon, helium, neon, dan gas kripton.

Persamaan keadaan sistem hidrostatik dinyatakan dalam fungsi

$$f(p, V, T) = 0 \quad (2.6)$$

## 2. Sistem Paramagnetik

Sistem paramagnetik merupakan gas, cairan, padatan, atau campuran dari dua atau tiga wujud tersebut yang memiliki kuat medan magnet luar yang disebut induksi magnetik ( $B$ ) yang mempengaruhi kemagnetan atom-atom atau magnetisasi ( $M$ ). Sedangkan temperatur sistem paramagnetik mempengaruhi orientasi atom-atom sistem paramagnetik dan orientasi atom-atom ini akhirnya mempengaruhi magnetisasi. Jadi sistem paramagnetik minimal mempunyai tiga koordinat sistem, yaitu: induksi magnetik luar ( $B$ ), Magnetisasi ( $M$ ), dan temperatur sistem paramagnetik ( $T$ ). Sedangkan contoh sistem paramagnetik misalnya: Aluminium ( $Al$ ), Calcium ( $Ca$ ), Magnesium ( $Mg$ ), dan Chromium ( $Cr$ ).

Untuk jelasnya, ditinjau sebuah kristal  $Mg$  yang memiliki banyak atom, misalnya sebanyak  $m$  buah atom. Andaikan kristal ini dibiarkan begitu saja, maka kristal tetap dalam kondisi netral. Jika dipandang dari segi kemagnetannya, atom-atom  $Mg$  merupakan momen atau dipol magnetik ( $\mu_i$ ) yang tertentu, sehingga dipol magnetik totalnya adalah:

$$\mu = \sum_{i=1}^m \mu_i \quad (2.7)$$

Namun, karena arah dipol magnetik berbeda-beda (berorientasi secara acak) sedemikian rupa, sehingga magnetisasinya tidak ada atau sama dengan nol.

Atom-atom tidak terlihat mata, maka atom-atom yang bersifat magnet atau dipol magnetik ini merupakan magnet-magnet kecil sekali yang disebut magnet elementer. Karena arah magnet elementer berbeda-beda sedemikian rupa, sehingga kemagnetan kristal Mg juga tidak tampak atau kemagnetannya sama dengan nol, sehingga magnetisasinya juga sama dengan nol.

Pada hakikatnya momen magnetik atau dipol magnetik bersumber pada elektron yang mengelilingi inti dalam kulit atau sub kulit yang tidak penuh seluruhnya. Momen magnetik atom dinyatakan dalam satuan yang disebut sebagai magneton Bohr, yaitu:

$$\mu_B \approx 9 \times 10^{-24} \text{ A.m}^2 \quad (2.8)$$

Andaikan sistem paramagnetik yang berupa kristal Mg diperlakukan, misalnya diberi medan magnet luar yang kuat dengan induksi magnetik B, maka dipol magnetik atau magnet elementer arahnya akan terorientasi searah dengan medan magnet luar. Dengan demikian, sistem paramagnetik memiliki suatu besaran atau koordinat yang menyatakan kuat medan magnet luar yang disebut induksi magnetik B.

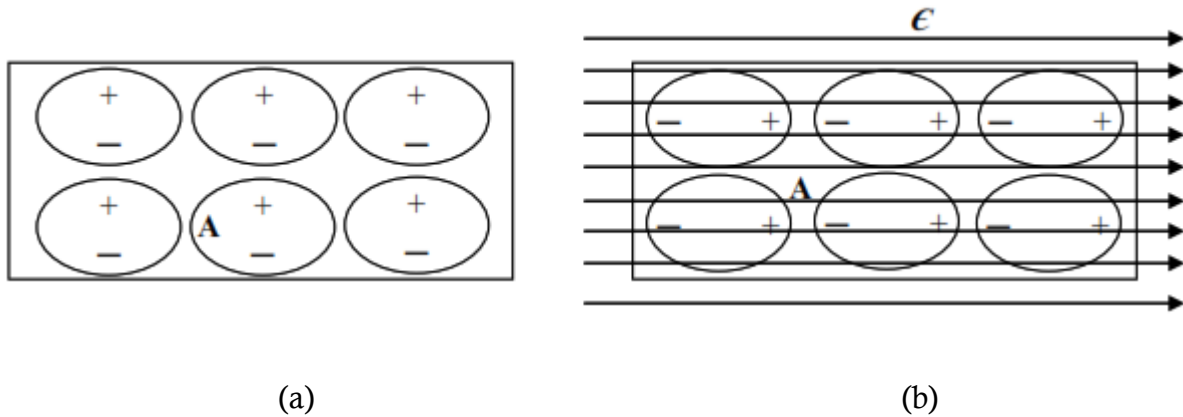
Tanpa medan magnet luar, sepotong kristal paramagnetik tidak memiliki apa yang dinamakan kemagnetan atau magnetisasi M, karena masing-masing magnet elementer atau dipol magnetik berorientasi acak. Karena ada medan magnet luar, maka magnet elementer atau dipol magnetik terorientasi searah dengan arah medan magnet luar. Boleh dinyatakan, magnet-magnet elementer atau dipol magnetik akan berusaha menyejajarkan (menjajarkan) diri dengan medan magnet luar. Dengan demikian magnetisasi M merupakan koordinat kedua sistem paramagnetik.

Koordinat ketiga sistem paramagnetik adalah temperatur (T). Mengapa demikian? Karena penyejajaran (penjajaran) magnet elementer atau dipol magnetik ( $\mu$ ) oleh kuat medan magnet luar dengan induksi magnetik B ditentang oleh temperatur (T). Maksudnya, karena atom-atom dalam suatu kristal senantiasa bergetar, sedangkan kenaikan temperatur menyebabkan getaran semakin hebat, maka semakin tinggi temperatur semakin acak orientasi magnet elementer atau dipol magnetiknya, sehingga magnetisasinya (M) semakin kecil.



### 3. Sistem Dielektrik

Sistem atau zat dielektrik secara keseluruhan mempunyai besaran-besaran polarisasi  $P$ , medan listrik luar dengan kuat medan listrik  $\epsilon$ , dan temperatur  $T$ . Sistem atau zat dielektrik dapat digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 2.2.** Sistem atau Zat Dielektrik: (a). Atom atau Molekul atau Dipole Listrik Zat Dielektrik; (b). Atom atau Molekul atau Dipole Listrik Zat Dielektrik yang Telah Diarahkan oleh Medan Listrik Luar dengan Kuat Medan Listrik  $\epsilon$

Zat dielektrik, jika tidak dikenai medan listrik luar, maka atom atau molekulnya memiliki pusat muatan positif yaitu inti atom yang berimpit dengan pusat muatan negatifnya, yaitu elektron (perhatikan gambar 4.a). Jika zat dielektrik dikenai atau dimasukkan ke dalam medan listrik luar dengan kuat medan listrik  $\epsilon$ , maka zat dielektrik akan terkena induksi (imbas) medan listrik. Karena terkena medan listrik luar, maka pusat muatan positif inti dan elektron atom tidak lagi berimpit, melainkan agak bergeser (tergeser), sehingga atom atau molekul menyerupai dipole listrik yang kecil sekali (perhatikan gambar 4.b). Ini berarti atom-atom zat dielektrik diarahkan oleh medan listrik luar. Peristiwa terarahnya atom-atom zat dielektrik ini dikenal sebagai peristiwa polarisasi. Dengan peristiwa polarisasi, atom-atom zat dielektrik menjadi dipole listrik. Oleh karena itu, ada dua besaran zat dielektrik, yaitu: polarisasi ( $P$ ) dan kuat medan listrik luar ( $\epsilon$ ) yang saling mempengaruhi; sehingga disebut sebagai variabel keadaan atau koordinat sistem dielektrik.

Bagaimana kalau temperatur zat dielektrik dinaikkan? Jika temperatur zat dielektrik dinaikkan, maka getaran atom atau molekul zat dielektrik semakin hebat; sehingga arah

positif dan negatifnya atom yang netral semakin acak. Karena semakin acak, maka kenaikan temperatur pada hakikatnya menentang terorientasinya muatan atom-atom zat dielektrik.

Dengan ini jelas bahwa temperatur juga mempengaruhi polarisasi, sehingga temperatur juga merupakan variabel keadaan atau koordinat sistem dielektrik.

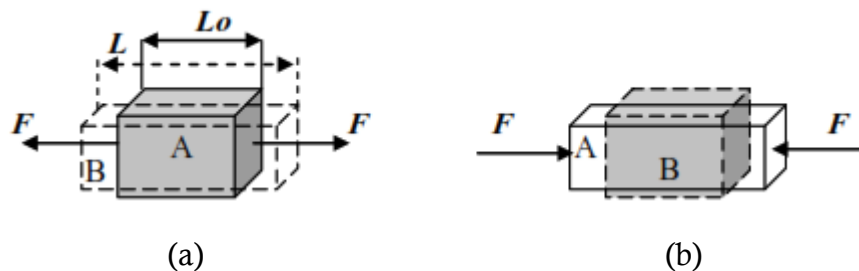
Bagaimana polarisasi  $P$  zat dielektrik, jika zat dielektrik dimasukkan dalam medan listrik luar dengan kuat medan listrik  $\epsilon$ , dan temperatur  $T$  zat dielektrik dinaikkan? Menurut hasil eksperimen, salah satu hubungan antara polarisasi  $P$ , kuat medan listrik  $\epsilon$ , dan temperatur  $T$  ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$P = \left( a + \frac{b}{T} \right) \epsilon \quad (2.9)$$

dengan  $a$  dan  $b$  sebagai tetapan yang harganya ditentukan dengan eksperimen.

#### 4. Sistem Dawai Tegang

Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada bahan yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya yang mempengaruhi dihilangkan, bahan yang seperti ini disebut bahan yang lenting sempurna. Ada pula bahan yang tetap berubah bentuknya walaupun gaya yang mempengaruhi dihilangkan, bahan yang seperti ini disebut bahan tidak lenting sempurna. Namun tidak boleh ada gaya yang melebihi kekuatan maksimum bahan. Jika ada gaya yang melebihi kekuatan maksimum bahan, maka bahan akan putus, patah, atau retak. Batas ini disebut sebagai batas kelentingan bahan. Sifat-sifat kelentingan bahan dijelaskan dengan dua pengertian dasar, yaitu: stres dan strain.



**Gambar 2.3.** Sistem Dawai yang Tegang: (a) Batang Baja A yang Ditarik dengan Gaya  $F$ , sehingga Memanjang Menjadi B; (b) Batang Baja A yang Ditekan dengan Gaya  $F$ , sehingga Memendek Menjadi B

Gambar 2.3.a melukiskan sebuah batang baja A yang ditarik oleh dua gaya yang sama, ke kanan dan kekiri, yaitu: F. Karena kuatnya gaya tarik tersebut, maka batang baja akan mengecil dan berubah bentuknya menjadi batang B. Perubahan bentuk ini tetap, walaupun kedua gaya tarik dihilangkan.

Gambar 2.3.b melukiskan sebuah batang baja A yang ditekan dengan gaya yang berlawanan sebesar F. Akibatnya batang baja A membesar dan memendek serta berubah bentuknya menjadi B. Perubahan bentuk ini tetap, walaupun gaya tekan dihilangkan.

Kedua contoh pada gambar a dan b menunjukkan adanya stres dan strain yang bersama-sama terjadi pada sebuah batang baja. Hal ini juga dapat terjadi pada bahan lainnya, misalnya: kayu, plastik, zat cair, maupun gas.

Pada gambar (a) panjang batang mula-mula adalah  $L_0$  dan panjang batang setelah ditarik dengan gaya F di dua buah permukaannya adalah L. Andaikan luas permukaan batang baja adalah A, maka stres regangan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya dengan luas permukaannya, sehingga stres regangan dapat dituliskan seperti persamaan berikut.

$$\text{Stres Regangan} = \frac{F}{A} \quad (2.10)$$

Strain regangan pada batang baja ini didefinisikan sebagai perbandingan antara tambahan panjang dengan panjang aslinya. Secara matematis ditulis sebagai persamaan berikut.

$$\text{Strain Regangan} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2.11)$$

Sedangkan strain yang disebabkan oleh tekanan hidrostatis didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan volume dan volume aslinya dan secara matematis dapat ditulis seperti persamaan berikut.

$$\text{Strain Regangan} = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V - V_0}{V_0} \quad (2.12)$$

Perbandingan antara stres dan strain yang ditimbulkannya disebut sebagai modulus kelentingan. Harga perbandingan ini konstan, asalkan tidak melebihi batas kelentingan

bahan. Sedangkan modulus kelentingan linier atau modulus Young merupakan perbandingan antara stress regangan dan strain regangan yang sama dengan harga perbandingan antara stress desakan dan strain desakan. Secara matematis dapat ditulis seperti persamaan berikut.

$$\text{Modulus Young} = \frac{\text{Stres Regangan}}{\text{Strain Regangan}} \quad (2.13)$$

$$Y = \frac{F/A}{\Delta l/l_0} \quad (2.14)$$

Jika A adalah luas penampang batang dimana:

$$A = A_0(1 + 2\alpha \Delta T) = A_0[1 + 2\alpha(T_f - T_0)] \quad (2.15)$$

dan pertambahan panjang batang adalah:

$$\Delta l = l - l_0 = l_0(1 + \alpha \Delta T) - l_0 = l_0 \alpha (T_f - T_0) \quad (2.16)$$

Sehingga diperoleh:

$$2\alpha^2 A_0 (T_f - T_0)^2 + \alpha A_0 (T_f - T_0) = \frac{F}{Y} \quad (2.17)$$

Persamaan 2.17 menunjukkan hubungan yang rumit antara gaya tetap yang bekerja pada bahan (F), modulus Young (Y), luas permukaan bahan pada temperatur 0°C (A<sub>0</sub>), koefisien muai panjang bahan (α), temperatur akhir bahan (T<sub>f</sub>), dan tempertaur 0°C (T<sub>0</sub>).

Andaikan T<sub>0</sub> = 0°C, maka persamaan 2.17 dapat disederhanakan menjadi persamaan berikut.

$$F = Y[2\alpha^2 A_0 T^2 + \alpha A_0 T] \quad (2.18)$$

Persamaan 2.18 menunjukkan hubungan antara gaya tetap yang bekerja pada bahan dengan temperatur bahan; asalkan modulus Young, koefisien muai panjang, dan luas penampang bahan pada temperatur 0°C diketahui. Gaya tetap ini dapat berupa tegangan dawai, gaya desakan, gaya regangan, atau gaya luar yang lain. Persamaan 2.18 merupakan persamaan keadaan dawai yang teregang dengan variabel koordinat F dan T.

Modulus yang menghubungkan tambahan tekanan hidrostatik dengan penyusutan volume yang bersesuaian disebut modulus bulk yang secara matematis ditulis seperti persamaan berikut.

$$B = -\frac{p}{\frac{\Delta V}{V_0}} = -\frac{pV_0}{V - V_0} = -\frac{pV_0}{V_0(1 + 3\alpha T) - V_0} = -\frac{p}{3\alpha T} \quad (2.19)$$

atau

$$p = -3\alpha BT \quad (2.20)$$

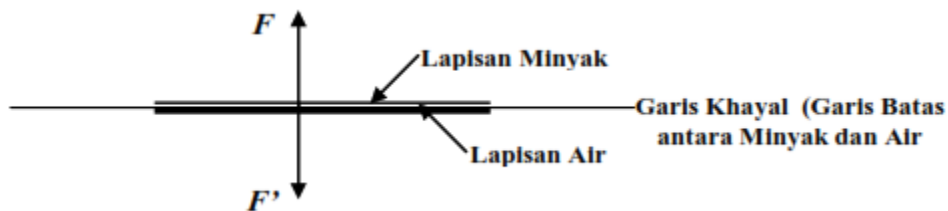
Persamaan 2.20 menunjukkan hubungan antara tekanan hidrostatik dengan koefisien muai panjang, temperatur, dan modulus bulk bahan yang berwujud cairan. Persamaan ini sederhana karena tekanan hidrostatik berupa fungsi linier dari temperatur bahan. Persamaan 2.20 merupakan persamaan keadaan cairan yang memperoleh tekanan hidrostatik dengan variabel keadaan  $p$  dan  $T$ .

## 5. Selaput Tipis

Selaput tipis (Thin Layer) juga merupakan sistem termodinamis. Contoh konkret selaput tipis antara lain:

- bagian atas permukaan cairan dalam kesetimbangan dengan uapnya,
- gelembung sabun atau selaput sabun yang teregang pada suatu kerangka yang terjadi dari dua permukaan selaput sabun dengan sedikit cairannya, dan
- lapisan minyak di atas permukaan air.

Lapisan minyak di atas air mirip dengan membran yang teregang seperti gambar 2.4 berikut.



**Gambar 2.4.** Lapisan Minyak di atas Air

Lapisan minyak menarik garis batas antara minyak dan air ke atas dengan gaya  $F$  yang tegak lurus garis batas serta lapisan air menarik garis batas antara minyak dan air ke bawah dengan gaya  $F'$  yang tegak lurus garis batas. Dua gaya ini sama harganya hanya berlawanan arah. Gaya yang bekerja tegak lurus garis batas per satuan panjang disebut tegangan permukaan.

Keadaan selaput tipis ini diwakili oleh tiga koordinat sistem, yaitu:

- tegangan permukaan ( $\gamma$ ) dengan satuan  $\text{N m}^{-1}$
- luas selaput ( $A$ ) dengan satuan  $\text{m}^2$ , dan
- temperatur selaput tipis ( $T$ ) dengan satuan kelvin (K).

Eksperimen menunjukkan, bahwa tegangan permukaan hanya fungsi temperatur saja. Oleh sebab itu, persamaan keadaan selaput tipis antara minyak (eka lapis) dan air dapat ditulis sebagai berikut.

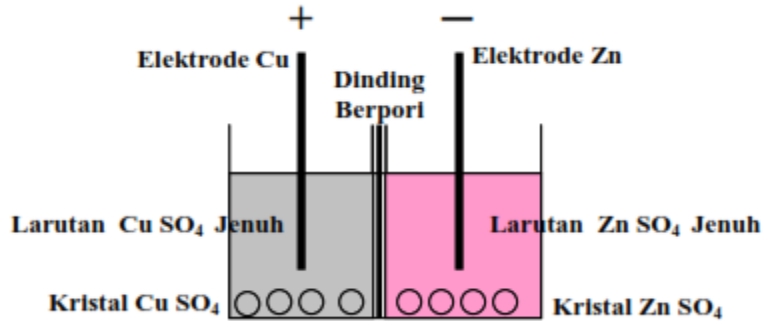
$$(\gamma - \gamma_w)A = aT \quad (2.21)$$

dengan  $a$  = tetapan,  $\gamma$  = tegangan permukaan air yang diselimuti minyak eka lapis,  $\gamma_w$  = tegangan permukaan air bersih (murni), dan  $T$  = temperatur lapisan tipis.

Perbedaan  $(\gamma - \gamma_w)$  sering disebut tekanan permukaan. Selaput tipis seperti ini dapat dimampatkan dan dapat dimuaikan; sehingga sangat menarik jika dibahas dalam termodinamika. Selaput tipis antara minyak dan air jika diendapkan akan mempunyai sifat optis yang menarik; sehingga jika dibahas dalam optika fisis sangat menarik.

## 6. Sistem Sel Listrik

Sel terbalikkan Daniell terdiri atas dua elektrode (tembaga / Cu dan seng / Zn) yang masing-masing dibenamkan dalam elektrolit yang berbeda (larutan Cu SO<sub>4</sub> jenuh dan larutan Zn SO<sub>4</sub> jenuh) yang dibatasi oleh dinding berpori-pori seperti gambar 2.5 berikut.



**Gambar 2.5.** Sel Daniell

Eksperimen menunjukkan, bahwa elektrode Cu lebih positif dibanding dengan elektrode Zn; sehingga Cu disebut kutub positif dan Zn disebut kutub negatif. Jika sel Daniell tersebut dihubungkan dengan suatu potensiometer yang beda potensialnya lebih rendah sedikit dengan gaya gerak listrik (ggl) sel, maka arus listrik (pemindahan muatan positif) akan terjadi dari Cu ke Zn. Apabila hal ini terjadi, seng melarut, seng sulfat terbentuk, tembaga diendapkan, dan tembaga sulfatnya terpakai. Perubahan ini diungkapkan dengan reaksi kimia berikut.



Jika pemindahan muatan positif dibalik, dalam arti dari Zn ke Cu, maka akan terjadi: tembaga melarut, tembaga sulfat terbentuk, seng diendapkan, dan seng sulfatnya terpakai. Perubahan ini diungkapkan dengan reaksi kimia berikut.



Eksperimen menunjukkan, bahwa reaksi berlangsung dalam arah sebaliknya; sehingga sel Daniell disebut sel terbalikkan. Jika sel terbalikkan tidak menghasilkan gas dan bekerja pada tekanan udara luar yang tetap, maka variabel keadaan sistemnya hanya tiga, yaitu:

1. gaya gerak listriknya ( $\epsilon$ ) dengan satuan volt (V)
2. muatannya ( $Z$ ) dengan satuan coulomb (C), dan
3. temperaturnya ( $T$ ) dengan satuan kelvin (K).

Sifat penting sel terbalikkan ialah perubahan kimia yang menyertai pemindahan muatan listrik dalam satu arah terjadi dengan harga yang sama dalam arah sebaliknya ketika jumlah muatan listrik yang sama dipindahkan dalam arah sebaliknya. Jadi, jika  $\Delta n$  mol seng lenyap dan  $\Delta n$  mol tembaga diendapkan, muatan sel berubah dari  $Z_i$  ke  $Z_f$ , dengan

$$Z_f - Z_i = - \Delta n j N_F \quad (2.22)$$

Perlu diketahui, bahwa  $Z_i$  = muatan awal sel,  $Z_f$  = muatan akhir sel,  $j$  = valensi seng atau tembaga (dalam hal ini valensi seng = valensi tembaga = 2), dan  $N_F$  = tetapan Faraday = 96.500 C.

Namun eksperimen juga menunjukkan, bahwa ggl sel terbalikkan hanya fungsi temperatur saja. Dengan demikian, persamaan keadaan sistem sel terbalikkan adalah:

$$\varepsilon = \varepsilon_{20} + \alpha(t - 20^0) + \beta(t - 20^0)^2 + \gamma(t - 20^0)^3 \quad (2.23)$$

dengan  $\varepsilon$  = ggl sembarang temperatur,  $\varepsilon_{20}$  = ggl pada temperatur  $20^0\text{C}$ ,  $t$  = temperatur dalam celcius, serta  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  adalah tetapan yang bergantung pada bahan.

## RANGKUMAN

Suatu sistem dapat berada dalam keadaan setimbang atau tidak setimbang. Ada empat keadaan setimbang suatu sistem. Keempat keadaan setimbang tersebut adalah keadaan setimbang mekanis, keadaan setimbang kimiawi (chemis / kemis), keadaan setimbang termal/termis dan keadaan setimbang termodinamis.

Suatu sistem dinyatakan berada dalam keadaan setimbang mekanis jika resultan gaya luar maupun resultan gaya dalamnya (gaya dachil) adalah nol. Dalam keadaan setimbang mekanis, suatu sistem dapat diam atau bergerak beraturan. Dalam arti bergerak lurus beraturan atau bergerak melingkar beraturan atau berotasi beraturan.

Suatu sistem akan berada dalam keadaan setimbang kemis (kimiawi) apabila tidak mengalami perpindahan zat dari bagian satu ke bagian lainnya atau sistem tidak mengalami difusi, tidak terjadi reaksi kimiawi yang dapat mengubah jumlah partikel semula, tidak terjadi pelarutan, tidak terjadi kondensasi serta, komposisi dan konsentrasinya tetap. Ini berarti



sistem dinyatakan setimbang kemis (kimiawi), jika sistem tidak berubah dan tetap berada dalam keadaan semula.

Suatu sistem akan berada dalam keadaan setimbang termis dengan lingkungannya apabila koordinat makro maupun mikronya tidak berubah walaupun kontak termal dengan lingkungannya melalui dinding diatermik, harga koordinat makro maupun mikronya tidak berubah dengan perubahan waktu. Oleh karena itu, suatu sistem disebut setimbang termis, jika harga koordinatnya tidak berubah dengan perubahan waktu.

Apabila syarat-syarat kesetimbangan mekanis, kemis, dan termis terpenuhi, maka sistem berada dalam keadaan setimbang termodinamis. Dalam keadaan setimbang termodinamis, keadaan koordinat sistem maupun lingkungan sistem cenderung tidak berubah sepanjang masa. Jadi, pada dasarnya Termodinamika hanya mempelajari suatu sistem yang berada dalam kesetimbangan termodinamis.

Keadaan sistem yang setimbang termodinamis minimal ada dua, yaitu: sistem yang tertutup dan sistem yang terbuka. Suatu sistem dinyatakan tertutup, jika massa dan jumlah partikel sistem tetap. Ini berarti, jumlah mol sistem yang tertutup selalu tetap. Sebaliknya, sistem dinyatakan terbuka, jika massa dan jumlah partikel sistem berubah-ubah harganya. Ini berarti, jumlah mol sistem yang terbuka selalu berubah-ubah.

Sistem hidrostatis merupakan zat kimia yang tidak diperhatikan sifat kelistrikannya, kemagnetannya, elastisitasnya, dan sifat tegangan permukaannya. Sistem hidrostatis ada dua, yaitu: zat murni dan zat tak murni. Contoh sistem hidrostatis adalah: gas, cairan, atau padatan.

Sistem atau zat dielektrik secara keseluruhan mempunyai besaran-besaran polarisasi  $P$ , medan listrik luar dengan kuat medan listrik  $E$ , dan temperatur  $T$ . Zat dielektrik, jika tidak dikenai medan listrik luar, maka atom atau molekulnya memiliki pusat muatan positif yaitu inti atom yang berimpit dengan pusat muatan negatifnya, yaitu elektron.

Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada bahan yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya yang mempengaruhi dihilangkan, bahan yang seperti ini disebut bahan yang lenting sempurna. Ada pula bahan yang tetap berubah bentuknya walaupun gaya yang mempengaruhi dihilangkan, bahan yang seperti ini disebut bahan tidak lenting sempurna. Namun tidak boleh ada gaya yang melebihi kekuatan maksimum bahan. Jika ada gaya yang melebihi kekuatan maksimum bahan, maka bahan akan putus, patah, atau retak.

Batas ini disebut sebagai batas kelentingan bahan. Sifat-sifat kelentingan bahan dijelaskan dengan dua pengertian dasar, yaitu: stres dan strain.

Selaput tipis (Thin Layer) juga merupakan sistem termodinamis. Contoh konkret selaput tipis antara lain bagian atas permukaan cairan dalam kesetimbangan dengan uapnya, gelembung sabun atau selaput sabun yang teregang pada suatu kerangka yang terjadi dari dua permukaan selaput sabun dengan sedikit cairannya, dan lapisan minyak di atas permukaan air.

Sel terbalikkan Daniell terdiri atas dua elektrode (tembaga / Cu dan seng / Zn) yang masing-masing dibenamkan dalam elektrolit yang berbeda (larutan  $\text{Cu SO}_4$  jenuh dan larutan  $\text{Zn SO}_4$  jenuh) yang dibatasi oleh dinding berpori-pori.

## **LATIHAN**

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

1. Sebutkan dan jelaskan perbedaan dari keadaan setimbang sistem ?
2. Apakah suatu benda dapat memiliki lebih dari satu keadaan setimbang? Jelaskan!
3. Diketahui suatu logam dengan diameter 1,4 mm sepanjang 80 cm diberikan gaya sebesar 100 N menyebabkan perubahan panjang sebesar 0,51 mm. Hitunglah nilai modulus young dari bahan tersebut!

## DAFTAR PUSTAKA

Giancoli, D.C. (2004). Physics volume I. New Jersey : Prentice Hall

Halliday, D., Resnick, R. (1997). Physics , terjemahan: Patur Silaban dan Erwin Sucipto.  
Jakarta: Erlangga.

Tipler, P.A. (1998). Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga.

## Kegiatan Belajar 2

### Hukum Gas Ideal

Hukum-hukum gas dikembangkan pada akhir abad ke-18, ketika para ilmuwan mulai menyadari bahwa hubungan antara tekanan, volume dan suhu dari sampel gas dapat diperoleh, yang menjadi dasar bagi pendekatan untuk semua gas. Gas berperilaku dengan cara yang sama dalam berbagai kondisi karena semuanya memiliki molekul yang sangat luas, dan persamaan keadaan untuk gas ideal berasal dari teori kinetik. Hukum gas sebelumnya saat ini dianggap sebagai kasus khusus persamaan gas ideal, dengan satu atau lebih variabel tetap dijaga konstan.

Hukum-hukum gas dari Boyle, Charles dan Gay-Lussac didapat dengan bantuan teknik yang sangat berguna di sains. Hal tersebut dilakukan dengan menjaga satu atau lebih variabel konstan untuk melihat akibat dari perubahan satu variabel saja.

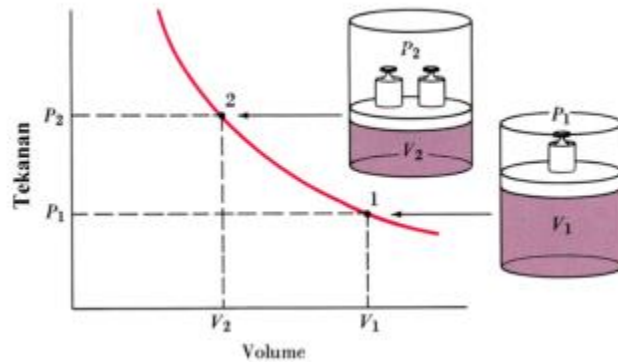
#### A. Hukum Boyle (1662)

Pada tahun 1662, Robert Boyle menemukan hubungan antara variabel-variabel gas yang pertama kali. Hukum Boyle mengaitkan tekanan dengan volume. Untuk sejumlah gas tertentu pada temperatur tetap, volume gas berbanding terbalik dengan tekanannya. Robert Boyle mempelajari hubungan antara volume dan tekanan gas pada suhu konstan. Dia mengamati bahwa volume massa gas yang diberikan berbanding terbalik dengan tekanannya asalkan suhu tetap konstan.

Hukum Boyle, dipublikasikan pada tahun 1662, yang menyatakan bahwa, **pada suhu konstan, produk dari tekanan dan volume massa tertentu dari gas ideal dalam sistem tertutup selalu konstan**. Hukum ini dapat diverifikasi secara eksperimental menggunakan pengukur tekanan dan wadah volume variabel. Persamaan ini juga dapat berasal dari teori kinetik gas: jika wadah, dengan jumlah molekul tetap di dalam, berkurang volumenya, lebih banyak molekul akan menyerang area tertentu dari sisi wadah per satuan waktu, menyebabkan tekanan yang lebih besar.

Robert Boyle juga membahas sifat gas, yaitu bahwa massa gas (jumlah nol) dan suhu gas harus dijaga konstan, sedangkan volume gas akan berubah. Selama waktu ini, tekanan yang dilepaskan oleh gas juga akan bervariasi dalam arah pengali antara tekanan (P) dan

volume (V), selalu mendekati konstan. Dengan demikian, itu adalah kondisi di mana gas menjadi gas ideal (ideal).



Gambar 2.6. Hukum Boyle – Hubungan antara volume dan tekanan gas

Gambar 2.6 di atas membantu untuk memahami pernyataan di atas. Silinder ditutup dengan ring 'tanpa berat' yang bebas bergerak. Tekanan gas tergantung pada berat total yang diletakkan di atas ring. (Berat atau gaya, dibagi dengan luas permukaan, menghasilkan tekanan gas). Kalau berat di atas ring dijadikan dua kali lipat, maka tekanan akan menjadi dua kali lipat juga dan volume berkurang menjadi setengahnya. Kalau berat di atas ring dijadikan tiga kali lipat, maka tekanan akan menjadi tiga kali lipat juga dan volume berkurang menjadi sepertiganya. Sebaliknya, kalau tekanan dikurangi menjadi setengahnya, maka volume menjadi dua kali lipat, dan seterusnya.

Hubungan terbalik antara tekanan dan volume adalah

$$P \propto \frac{1}{V} \text{ atau } P \propto \frac{1}{V} \text{ atau } PV = \text{Konstan}$$

Sehingga:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Apabila tanda setara ( $\propto$ ) pada persamaan diganti dengan tanda sama (=), maka hasil kali tekanan dan volume dari sejumlah tertentu gas pada temperatur tetap adalah sebuah tetapan (a). Grafik hubungan  $PV = \text{konstan}$  dapat dilihat pada Gambar 2.6, disebut hiperbola

sama sisi (atau segiempat). Dengan menggambarkan  $P$  vs  $\frac{1}{V}$ , grafik hiperbola dapat diubah menjadi garis lurus yang memotong titik asal dan dengan kemiringan sama dengan  $k$ .

**Contoh Soal:**

1. Diketahui pada awalnya jumlah suatu gas ideal memiliki tekanan sejumlah  $P$  dan volume sejumlah  $V$ . Kemudian, tekanan gas tersebut berubah menjadi 2 kali tekanan awal. Berapakah volume gas tersebut sekarang?
2. Diketahui tekanan gas dalam suatu wadah tertutup adalah 4 atm, sementara volumenya adalah 1 liter. Beberapa saat kemudian, tekanan gas berubah menjadi 6 atm. Hitunglah berapa volume gas tersebut sekarang?

**Pembahasan:**

1.  $P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$PV = 2PV_2$$

$$V = 2.V_2$$

$$V_2 = \frac{1}{2}V$$

Jadi, volume gas tersebut sekarang menjadi  $1/2$  volume gas awal.

2. Diketahui:

$$P_1 = 4 \text{ atm} = 4 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 6 \text{ atm} = 6 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$V_1 = 1 \text{ liter} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Ditanya:  $V_2 = ?$

Jawab:

$$(4 \times 10^5)(1 \times 10^{-3}) = (6 \times 10^5) V_2$$

$$4 \times 10^2 = (6 \times 10^5) V_2$$

$$2/3 \times 10^{-3} = V_2$$

$$V_2 = 2/3 \times 10^{-3} \text{ dm}^3$$

$$V_2 = 0,67 \text{ liter}$$

Jadi, volume gas tersebut sekarang adalah 0,67 liter.

Keberadaan Hukum Boyle ini tentu saja memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia sehari-hari. Penerapan hukum Boyle dalam kehidupan sehari-hari adalah sebagai berikut:

#### 1. Sistem Pernapasan Makhluk Hidup

Saat menghirup udara, paru-paru tentu saja akan dipenuhi dengan udara tersebut, maka dari itu mereka akan berkembang. Volume paru-paru akan meningkat seiring dengan level tekanan yang menurun. Demikian pula, ketika paru-paru mengeluarkan udara, maka paru-paru akan mengecil sehingga volume berkurang dan tekanan menjadi meningkat.

#### 2. Botol Soda

Botol soda yang berisikan campuran karbon dioksida itu memiliki tutup yang menutup dengan rapat. Hal itu karena adanya molekul udara di dalam wadah yang dikemas secara rapat tersebut, sehingga menyebabkan udara tidak memiliki ruang untuk bergerak. Ketika botol dibuka, beberapa molekul udara akan keluar. Dengan demikian akan memberikan ruang untuk pergerakan molekul udara. Disinilah terjadi perubahan tekanan sesuai dengan perubahan volume.

#### 3. Penggunaan Jarum Suntik

Pada sebuah jarum suntik itu terdiri atas silinder yang berfungsi untuk menampung fluida dan pendorong untuk memvariasikan tekanan. Ketika plunger ditekan, maka volume fluida akan berkurang sehingga tekanan akan meningkat. Begitu pula ketika kita menarik plunger, maka volume akan dinaikkan sementara tekanan dikurangi.

### **B. Hukum Charles (1787)**

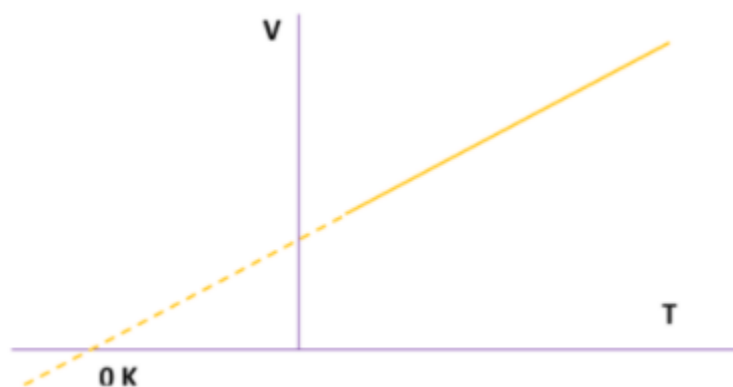
Jacques Alexandre César Charles merupakan seorang ahli fisika, sekaligus penemu dan matematikawan yang lahir di Beaugency, Loiret, Prancis pada 12 November 1746 dan wafat di Paris, Prancis pada 7 April 1823. Pada tahun 1783, Charles membangun balon hidrogen pertama di dunia bersama dengan rekan-rekannya Robert bersaudara, Nicolas, dan Anne-Jean. Percobaannya mengenai hidrogen yang dipandanginya mampu mengangkat balon ke udara tersebut terinspirasi dari Hukum Boyle.

Percobaannya tentang balon udara tersebut berlanjut pada tahun 1787, dimana ia mengisi gas yang berbeda ke dalam 5 balon yang memiliki volume yang sama dan menaikkan

suhunya hingga 80 derajat Celcius. Alhasil, kelima balon tersebut mengalami kenaikan volume yang sama. Percobaan inilah yang menjadi landasan dari tercetusnya Hukum Charles.

Hubungan antara volume gas dengan temperatur ditemukan oleh fisikawan Perancis Jacques Charles pada tahun 1787 dan secara terpisah oleh Joseph Gay-Lussac yang dipublikasikan pada tahun 1802. Hukum ini menyatakan bahwa, untuk massa tertentu dari gas ideal pada tekanan konstan, volume berbanding lurus dengan suhu absolut, dengan asumsi dalam sistem tertutup. Untuk lebih memahami hukum Charles, simaklah kasus berikut ini.

Dalam sebuah tabung tertutup, dimasukkan sejumlah gas. Tekanan diabaikan dalam keadaan tetap dan temperatur diubah. Volume gas bertambah seiring dengan kenaikan temperatur dan berkurang seiring dengan turunnya temperatur. Hubungannya adalah membentuk garis linier (garis lurus). Perhatikan gambar berikut ini.



**Gambar 2.7** Grafik Isobarik

Grafik Hukum Charles ini disebut dengan proses isobarik, yakni sebuah kondisi hubungan antara suhu dan volume gas yang terjadi pada tekanan konstan. Jadi, hukum Charles dapat dinyatakan sebagai berikut: ***“Apabila tekanan gas yang berada di dalam suatu ruangan tertutup bersifat konstan, maka suhu mutlaknya akan berbanding lurus dengan volume gas tersebut.”***

Secara matematis dapat dituliskan

$V \sim T$  atau  $V = bT$  (dimana  $b = \text{tetapan}$ ), jadi:



$$\frac{V}{T} = \text{tetap}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa mengalikan temperatur Kelvin (absolut) dua kali akan menyebabkan volume menjadi dua kali, dan menurunkan temperatur Kelvin menjadi setengahnya (misal dari 300 K menjadi 150 K) akan menyebabkan volume berkurang menjadi setengahnya, dan seterusnya. Tidak sulit melihat bahwa temperatur yang digunakan pada persamaan di atas harus dalam skala absolut (Kelvin). Karena menaikkan temperatur gas dari 1 °C menjadi 2 °C atau dari 1 °F menjadi 2 °F, dimana temperatur menjadi dua kali lipat, tidak akan menyebabkan volume menjadi dua kali lipat.

### Contoh Soal:

1. Didalam sebuah bejana tertutup terdapat gas yang mempunyai volume 2 liter dan suhu 27°C. Jika volume gas menjadi 3 liter, berapakah suhu gas tersebut akhirnya?
2. Diketahui sebuah gas mempunyai volume awal sebesar V, dengan volume akhir sebesar 4V. Sedangkan gas tersebut mempunyai suhu sebesar T. Berapakah besar suhu akhir gas tersebut?

### Pembahasan:

1. Diketahui :

$$\text{Volume awal } (V_1) = 2 \text{ liter} = 2 \text{ dm}^3 = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Volume akhir } (V_2) = 3 \text{ liter} = 3 \text{ dm}^3 = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Suhu awal } (T^1) = 27^\circ\text{C} + 273 = 300 \text{ K}$$

Ditanya :

Suhu akhir ( $T^2$ ) ....?

Jawab:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{2 \times 10^{-3}}{300} = \frac{3 \times 10^{-3}}{T_2}$$

$$\frac{2}{300} = \frac{3}{T_2}$$

$$T_2 = 450 \text{ K}$$

$$T_2 = 450 \text{ K} - 270 = 177 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Jadi, suhu berubah menjadi 450K atau 177°C

2. Diketahui:

Volume awal ( $V_1$ ) = V

Volume akhir ( $V_2$ ) = 4V

Suhu awal ( $T_1$ ) = T

Ditanya :

Suhu akhir ( $T_2$ ) ....?

Jawab :

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{V}{T} = \frac{4V}{T_2}$$

$$T = 4T_2$$

Jadi, suhu akhir ( $T_2$ ) gas tersebut berubah menjadi 4 kali dari suhu awal.

Adapun penerapan Hukum Charles dalam kehidupan sehari-hari adalah sebagai berikut:

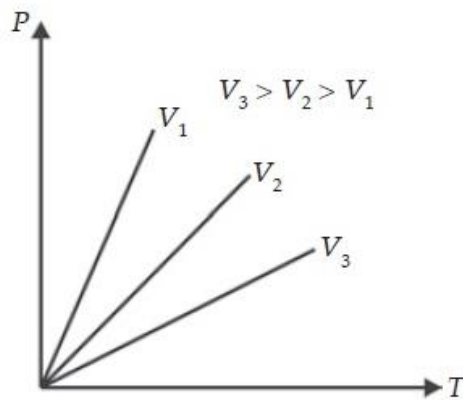
1. Balon Udara
2. Ban
3. Pelampung
4. Bola pingpong

### C. Hukum Gay Lussac

Joseph Louis Gay-Lussac merupakan merupakan seorang ahli kimia dan fisika yang lahir di Saint-Léonard-de-Noblat, Kingdom of France, pada 6 Desember 1778 dan wafat di Paris, Prancis, pada 9 Mei 1850. Gay-Lussac dikenal oleh khalayak luas atas kontribusi dan

jasanya terhadap ilmu pengetahuan setelah berhasil melakukan eksperimen dan merumuskan Hukum Gay-Lussac.

Joseph Gay-Lussac melakukan eksperimen tentang gas pada volume (V) dan jumlah gas (n) yang tetap, maka bertambahnya tekanan (P) gas berbanding lurus dengan meningkatnya temperature (T). Hukum Gay Lussac merupakan sebuah hukum yang membahas mengenai hubungan antara tekanan dan suhu dari gas ideal pada keadaan volume yang konstan.



**Gambar 2.8** Grafik Isokhorik

Grafik tersebut juga sering disebut dengan grafik isokhorik, yakni dimana volume suatu gas berada dalam keadaan yang konstan. Bunyi Hukum Gay Lussac adalah sebagai berikut: *“Tekanan suatu gas akan berbanding lurus dengan suhu absolutnya pada keadaan volume yang konstan (isokhorik).”*

Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut ini:

$$\frac{P}{T} = \text{tetap}$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

### **Contoh Soal:**

1. Diketahui sebuah gas memiliki tekanan awal sejumlah P, sementara suhu awalnya adalah T. Kemudian, gas tersebut mengalami perubahan tekanan menjadi 6P. Berapakah suhu gas tersebut sekarang?

2. Diketahui suatu gas dengan volume konstan memiliki tekanan awal sebesar 2 atm dan tekanan akhirnya adalah 4 atm. Sementara itu, suhu akhir dari gas tersebut adalah 30°C. Berapakah suhu awal dari gas tersebut?

**Pembahasan:**

1. Diketahui :

Tekanan awal ( $P_1$ ) = P

Tekanan akhir ( $P_2$ ) = 6P

Suhu awal ( $T_1$ ) = T

Ditanya:

Suhu akhir ( $T_2$ ) ....?

Jawab:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{P}{T} = \frac{6P}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{6P \cdot T}{P}$$

$$T_2 = 6T$$

Jadi, suhu gas tersebut sekarang berubah menjadi 6T.

2. Diketahui:

$P_1 = 2 \text{ atm}$

$P_2 = 4 \text{ atm}$

$T_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C} = (30 + 273) \text{ K} = 303 \text{ Kelvin}$

Ditanya:

Suhu awal ( $T_1$ ) ....?

Jawab:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{2 \text{ atm}}{T_1} = \frac{4 \text{ atm}}{303}$$

$$T_1 = \frac{2 \text{ atm} \cdot 303}{4 \text{ atm}}$$

$$T_1 = 151,5 \text{ K}$$

$$T_1 = (151,5 - 273) = -121,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Jadi, suhu awal dari gas tersebut adalah  $-121,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Sama halnya dengan hukum-hukum yang lain, hukum Gay – Lussac juga memiliki aplikasi dalam kehidupan sehari-hari, antara lain:

1. Kaleng soda. Jumlah gas yang larut dalam cairan minuman soda tersebut akan berbanding lurus dengan tekanan gas terhadap cairan minuman soda.
2. Botol atau kaleng aerosol. Ketika kita melempar salah satu atau kedua benda tersebut ke dalam api, akan menyebabkan tekanan gas di dalamnya mengalami peningkatan, sehingga terjadi ledakan.
3. Rice-cooker. Saat kita menyalakan rice-cooker, maka suhunya akan mengalami peningkatan, yang akan berbanding lurus dengan tekanan gas di dalamnya.

#### **D. Hukum Avogadro**

Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro atau yang lebih dikenal dengan nama Amedeo Avogadro merupakan seorang ilmuwan bidang fisika dan kimia yang lahir di Turin, Kerajaan Sardinia dan Piedmont (sekarang Italia) pada 9 Agustus 1776 dan wafat di Turin, Italia pada 9 Juli 1856. Avogadro mengawali karirnya sebagai guru ilmu-ilmu alam di salah satu sekolah menengah atas yang ada di Vericelli. Kemudian pada tahun 1820, ia menjadi pimpinan bidang fisika matematis di Universitas Turin.

Avogadro dikenal atas kontribusinya terhadap ilmu pengetahuan terkait dengan Hukum Avogadro, yakni sebuah hukum yang menyatakan mengenai hubungan antara volume suatu gas dengan jumlah molekulnya. Hasil penelitiannya tersebut dipublikasikan pada tahun 1811 dalam *De Lamétherie's Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire naturelle*. Selain itu, Avogadro juga berhasil merumuskan mengenai Teori Molekular, yang

menyatakan bahwa partikel-partikel dapat tersusun atas molekul-molekul, di mana molekul-molekul ini dapat tersusun atas unit-unit atau atom yang lebih sederhana.

Pada tahun 1811 Amadeo Avogadro membuat hipotesis yang disebut hipotesis 'sama jumlah – sama volume', sebagai dasar dari hukum gas sederhana yang ketiga.

1. Volume yang sama dari gas yang berbeda pada temperatur dan tekanan yang sama mengandung jumlah molekul yang sama.
2. Jumlah molekul yang sama dari gas yang berbeda dibandingkan pada temperatur dan tekanan yang sama menempati volume yang sama.

Kedua pernyataan di atas selanjutnya dikenal sebagai Hukum Avogadro, yaitu: **“pada temperatur dan tekanan tetap, volume gas sebanding dengan jumlah gas (misal jumlah molekul atau jumlah mol gas, n)”**.

Kalau jumlah mol gas dikalikan dua, volume menjadi dua kali, dan seterusnya. Tentu saja karena jumlah mol gas dan massanya adalah sebanding, maka mengalikan massa gas dua kali juga akan membuat volume gas menjadi dua kali juga. Pernyataan matematis menjadi,

$$V \sim n \text{ dan } V = c n \text{ (dimana } c = \text{ tetapan)}$$

Pada STP jumlah molekul yang ada dalam 22,414 L gas adalah  $6,02 \times 10^{23}$  atau 1 mol. Kalau tiga angka berarti dibulatkan, volume molar gas dapat dinyatakan melalui hubungan  
1 mol gas = 22,4 L gas (pada STP)

## RANGKUMAN

Hukum-hukum gas dikembangkan pada akhir abad ke-18, ketika para ilmuwan mulai menyadari bahwa hubungan antara tekanan, volume dan suhu dari sampel gas dapat diperoleh, yang menjadi dasar bagi pendekatan untuk semua gas. Gas berperilaku dengan cara yang sama dalam berbagai kondisi karena semuanya memiliki molekul yang sangat luas, dan persamaan keadaan untuk gas ideal berasal dari teori kinetik. Hukum gas sebelumnya saat ini dianggap sebagai kasus khusus persamaan gas ideal, dengan satu atau lebih variabel tetap dijaga konstan.

Hukum Boyle, dipublikasikan pada tahun 1662, yang menyatakan bahwa, pada suhu konstan, produk dari tekanan dan volume massa tertentu dari gas ideal dalam sistem tertutup selalu konstan. Hukum ini dapat diverifikasi secara eksperimental menggunakan pengukur tekanan dan wadah volume variabel. Persamaan ini juga dapat berasal dari teori kinetik gas: jika wadah, dengan jumlah molekul tetap di dalam, berkurang volumenya, lebih banyak molekul akan menyerang area tertentu dari sisi wadah per satuan waktu, menyebabkan tekanan yang lebih besar.

Hubungan antara volume gas dengan temperatur ditemukan oleh fisikawan Perancis Jacques Charles pada tahun 1787 dan secara terpisah oleh Joseph Gay-Lussac yang dipublikasikan pada tahun 1802. Hukum ini menyatakan bahwa, untuk massa tertentu dari gas ideal pada tekanan konstan, volume berbanding lurus dengan suhu absolut, dengan asumsi dalam sistem tertutup.

Joseph Gay-Lussac melakukan eksperimen tentang gas pada volume ( $V$ ) dan jumlah gas ( $n$ ) yang tetap, maka bertambahnya tekanan ( $P$ ) gas berbanding lurus dengan meningkatnya temperature ( $T$ ). Bunyi Hukum Gay Lussac adalah sebagai berikut: “Tekanan suatu gas akan berbanding lurus dengan suhu absolutnya pada keadaan volume yang konstan (isokhorik).”

Pada tahun 1811 Amadeo Avogadro membuat hipotesis yang disebut hipotesis ‘sama jumlah – sama volume’, sebagai dasar dari hukum gas sederhana yang ketiga. Volume yang sama dari gas yang berbeda pada temperatur dan tekanan yang sama mengandung jumlah molekul yang sama. Jumlah molekul yang sama dari gas yang berbeda dibandingkan pada temperatur dan tekanan yang sama menempati volume yang sama. Kedua pernyataan di atas selanjutnya dikenal sebagai Hukum Avogadro, yaitu: “pada temperatur dan tekanan tetap, volume gas sebanding dengan jumlah gas (misal jumlah molekul atau jumlah mol gas,  $n$ )”.

## **LATIHAN**

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

1. Jelaskan perbedaan masing-masing hukum Boyle, Charles, Gay-Lussac dan Avogadro!
2. Tentukan volume 3 mol gas yang dimasukkan ke dalam tabung!

3. Suatu tabung dengan volume 40 L mengandung gas nitrogen dengan tekanan 8,25 atm. Isi dari tabung ini dimasukkan ke dalam suatu tangki lain, dan didapat bahwa tekanan gas di dalamnya sebesar 2,55 atm. Berapakah volume dari tangki tersebut?
4. Tentukan banyaknya molekul gas oksigen dalam wadah yang berisi 3,8 liter gas oksigen bersuhu  $27^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 1,78 atm ( $1 \text{ atm} = 105 \text{ Pa}$ ) berada dalam sebuah wadah ! (Dimana konstanta gas umum  $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  dan bilangan avogadro  $N_A 6,02 \times 10^{23}$  molekul).



## DAFTAR PUSTAKA

Giancoli, D.C. (2004). Physics volume I. New Jersey : Prentice Hall

Halliday, D., Resnick, R. (1997). Physics , terjemahan: Patur Silaban dan Erwin Sucipto.  
Jakarta: Erlangga.

<https://www.zenius.net/blog/>

Tipler, P.A. (1998). Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga.