

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.

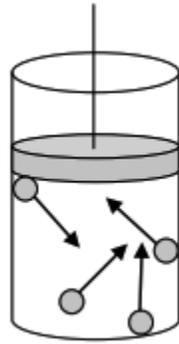
$$x = f(y, z) \quad (3.3.a)$$

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

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

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 kelistrikan, 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 (μ_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:

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

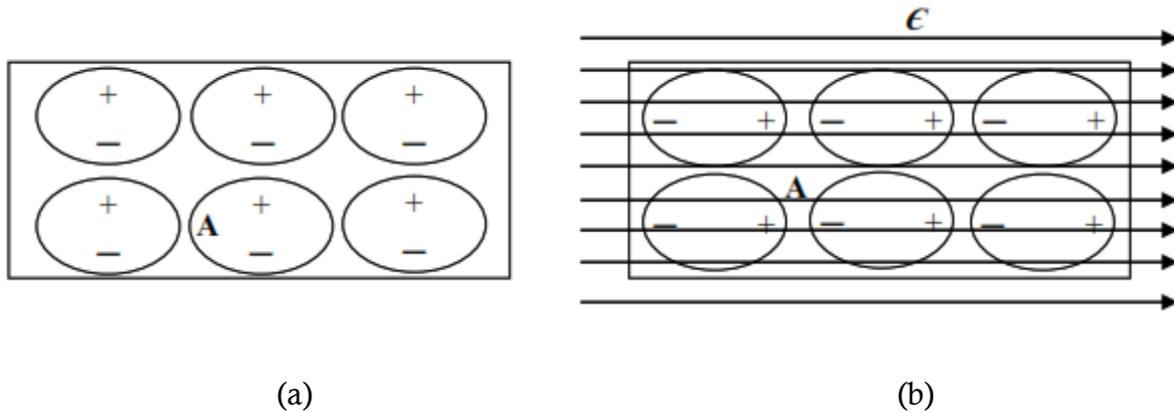
Andaikan sistem paramagnetik yang berupa kristal Mg diperlakukan, misalnya diberi medan magnet luar yang kuat dengan induksi magnetik B, maka dipol magnetik atau magnet elementer arahnya akan terorientasi searah dengan medan magnet luar. Dengan demikian, sistem paramagnetik memiliki suatu besaran atau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

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 ϵ , 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 (ϵ) 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.

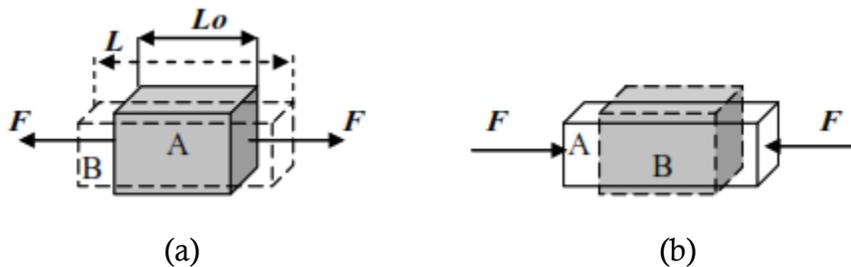
Bagaimana polarisasi P zat dielektrik, jika zat dielektrik dimasukkan dalam medan listrik luar dengan kuat medan listrik ϵ , dan temperatur T zat dielektrik dinaikkan? Menurut hasil eksperimen, salah satu hubungan antara polarisasi P , kuat medan listrik ϵ , dan temperatur T ditunjukkan oleh persamaan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

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 Teregang: (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 (A₀), koefisien muai panjang bahan (α), temperatur akhir bahan (T_f), dan tempertaur 0°C (T₀).

Andaikan T₀ = 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

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

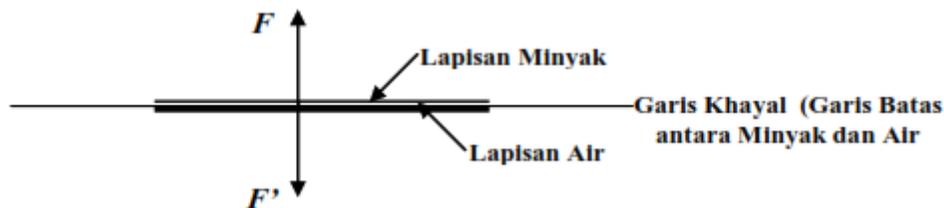
Persamaan 2.20 menunjukkan hubungan antara tekanan hidrostatik dengan koefisien muai panjang, temperatur, dan modulus bulk bahan yang berwujud cairan. Persamaan ini sederhana karena tekanan hidrostatik berupa fungsi linier dari temperatur bahan. Persamaan 2.20 merupakan persamaan keadaan cairan yang 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 (γ) dengan satuan N m^{-1}
- luas selaput (A) dengan satuan 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.

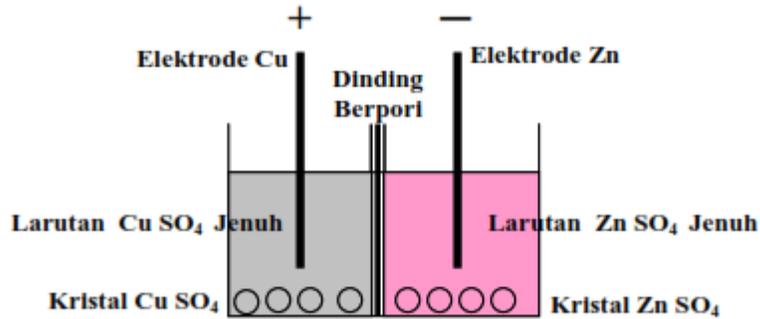
$$(\gamma - \gamma_w)A = aT \quad (2.21)$$

dengan a = tetapan, γ = tegangan permukaan air yang diselimuti minyak eka lapis, γ_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 SO₄ jenuh dan larutan Zn SO₄ 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 (ϵ) 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 Δn mol seng lenyap dan Δn 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 ε = ggl sembarang temperatur, ε_{20} = ggl pada temperatur 20°C, t = temperatur dalam celcius, serta α , β , dan γ 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 Cu SO_4 jenuh dan larutan 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.