



BAB IV

TERMOKIMIA

- A. Standar Kompetensi: Memahami tentang ilmu kimia dan dasar-dasarnya serta mampu menerapkannya dalam kehidupan sehari-hari terutama yang berhubungan langsung dengan kehidupan.
- B. Kompetensi Dasar : Memahami pengertian tentang materi, atom, molekul, ion dan sifat-sifat materi serta sifat keperiodikan dalam sistem periodik.
- C. Uraian materi :

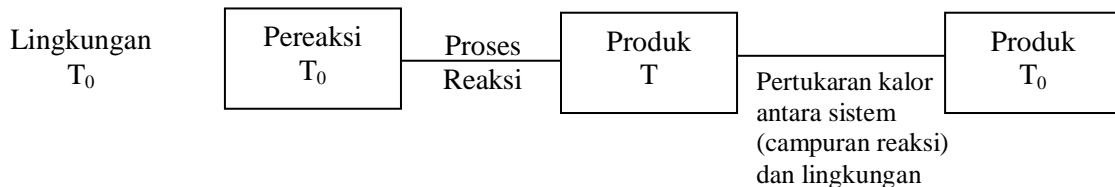
A. PENGERTIAN KALOR REAKSI

Kalor reaksi : energi yang dipindahkan dari atau ke sistem (ke atau dari lingkungan), sehingga suhu zat-zat hasil reaksi menjadi sama dengan suhu campuran zat-zat pereaksi.

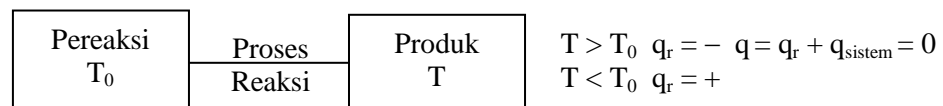
Reaksi kimia dapat terjadi pada volume tetap ; kalor reaksi = q_v
Reaksi kimia dapat terjadi pada tekanan tetap ; kalor reaksi = q_p
Reaksi kimia yang membutuhkan panas/kalor = endoterm = q positif
Reaksi kimia yang mengeluarkan panas/kalor = eksoterm = q negatif

Perhatikan diagram:

Proses isoterm ($\Delta T=0$)



Proses adiabatik ($q=0$)



B. HUBUNGAN KALOR dengan ENERGI

Bila sejumlah sistem menyerap sejumlah kalor q dari lingkungannya dan melakukan kerja w terhadap lingkungan, maka besarnya perbedaan energi adalah (Hukum Termodinamika 1)

$$\Delta U = q + w \quad (1)$$

Kerja yang dilakukan oleh sistem terhadap lingkungan mengalami ekspansi dari V_1 ke V_2 , maka kerja w (Joule):

$$w = - \int_{V_1}^{V_2} p_{\text{ex}} dV \quad (2)$$

Pada keadaan reversibel, $p_{\text{ex}} = p_{\text{in}} = p$

Sehingga energi mengalami perubahan sebesar :

$$dU = dq - pdv \quad (3)$$

Pada keadaan $V_1 \approx V_2$ (Volume tetap) secara matematika.

$$\Delta U = q_v \quad (4)$$

Definisi Entalpi, H :

Dari (4.3) $dq = dU + pdv$. Pada keadaan $p = \text{tetap}$, $q = q_p$, $\int pdv = p\Delta V$

$$\Delta H = q_p = \Delta U + p\Delta V \quad (5)$$

Besarnya entalpi (ΔH) pada reaksi kimia adalah :

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = H_{\text{hasil reaksi}} - H_{\text{pereaksi}} \quad (6)$$

Contoh. 1

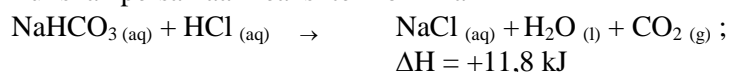
Larutan natrium hidrogen karbonat direaksikan dengan larutan asam klorida menghasilkan larutan natrium klorida, air dan gas karbon dioksida. Pada tekanan tetap 1 mol natrium hidrogen karbonat menyerap panas sebanyak 11,8 kJ. Tuliskan persamaan reaksi secara termokimia.

Jawab :

Tahap I. Seimbangkan persamaan reaksi



Tahap II. Tuliskan persamaan reaksi termokimia



C. HUBUNGAN $\Delta H - \Delta U$ UNTUK GAS IDEAL

Persamaan integral

$$H = U + PV \quad (7)$$

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$$

Untuk reaksi gas (ideal) $PV = nRT$

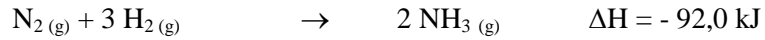
$$\Delta(PV) = (\Delta n)RT$$

$$\Delta H = \Delta U + (\Delta n)RT \quad (8)$$

Untuk reaksi yang bukan gas $\Delta(PV)$ kecil sekali, sehingga dapat diabaikan. Jadi $\Delta H = \Delta U$ untuk zat padat atau cair

Contoh : 2

1). Reaksi gas yang berlangsung pada 25°C adalah :



Hitung besar energi, ΔU yang terlibat

Jawab :

Semua yang terlibat dalam reaksi adalah gas, $\Delta(PV)$ dapat diperhitungkan.

Mol gas setelah reaksi ada 2, sebelum reaksi ada 4.

$$\Delta n = 2 - (1 + 3) = -2$$

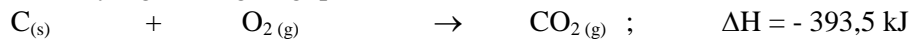
dari persamaan $\Delta H = \Delta U + (\Delta n) RT$

$$\Delta U = \Delta H - (\Delta n) RT$$

$$\Delta U = 92,0 \text{ kJ} + 2 \text{ mol} \cdot 8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/mol K} \cdot 298 \text{ K}$$

$$\Delta U = 87,0 \text{ kJ}$$

2). Reaksi yang berlangsung pada 25°C adalah :



Hitung besar ΔU yang terlibat

Jawab :

$$\Delta n = 0 \text{ (hitung gas saja)}$$

$$\Delta H = \Delta U$$

$$\Delta U = -393,5 \text{ kJ}$$

D. KAPASITAS KALOR

Kapasitas kalor suatu sistem adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur sistem sebanyak satu derajat.

$$C = \frac{dq}{dt} \quad (9)$$

q bergantung pada proses, sehingga C juga demikian.

Pada volume tetap $C \rightarrow C_v = \frac{dq_v}{dt}$

dari persamaan (3) $C_v = \left(\frac{dU}{dT} \right)_v \quad (10)$

pada tekanan tetap $C \rightarrow C_p = \frac{dq_p}{dt}$

dari persamaan (5) $C_p = \left(\frac{dH}{dT} \right)_p \quad (11)$

Contoh 3

Suatu cuplikan n-heptana (C_7H_{16}) sebanyak 0,5 gr dibakar dengan oksigen berlebihan dalam bom-kalorimeter (volume tetap). Secara sempurna menjadi $CO_2(g)$ dan $H_2O(l)$. Suhu air yang mengelilingi wadah pembakaran naik dengan $2,934^\circ C$. Jika kapasitas kalor kalorimeter dan perlengkapannya $8175 JK^{-1}$ dan suhu rata-rata kalorimeter ialah $25^\circ C$. Hitung ΔU dan ΔH , permol heptana, bagi proses ini

Jawab :

Percobaan adiabatik $q_{jumlah} = 0 = q_{kalorimeter} + q_{reaksi}$

$$q_{kalorimeter} = C\Delta T ; \quad q_{reaksi} = q_v = \Delta U_{reaksi} \rightarrow \Delta U_{reaksi} = -C\Delta T$$

$$\Delta U = -8,175 kJK^{-1} \times 2,934 \quad C = -24,0 kJ$$

$$\text{dalam } 100 g (= 1 \text{ mol}) C_7H_{16} : \quad \Delta U = (100/0,5) \times (-24,0 kJ) = -480 kJ$$

Karena reaksi eksoterm $\Delta U =$ negatif.



dari persamaan (4.5) $\Delta H = \Delta U + \Delta n RT$

$$\Delta H = -480 - 5 \text{ mol} \times 8,314 \cdot 10^{-3} kJ \text{ mol}^{-1} K^{-1} \times 298 K$$

$$\Delta H = -492 kJ$$

E. PERHITUNGAN ENTALPI REAKSI

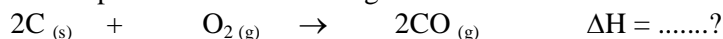
Kebanyakan reaksi berlangsung pada tekanan tetap, yang dinyatakan dengan entalpi reaksi. Perhitungan ΔH menggunakan Hukum Hess.

Hukum Hess mengatakan:

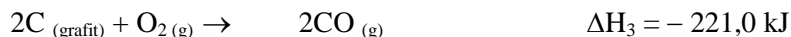
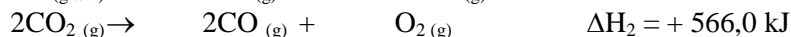
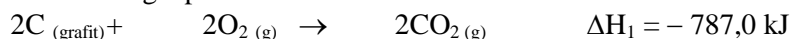
kalor reaksi suatu reaksi tidak bergantung pada apakah reaksi berlangsung satu tahap atau beberapa tahap. Berarti, jika ada reaksi kimia yang akan ditambah, entalpi reaksi dapat ditambah juga.

Contoh : 4

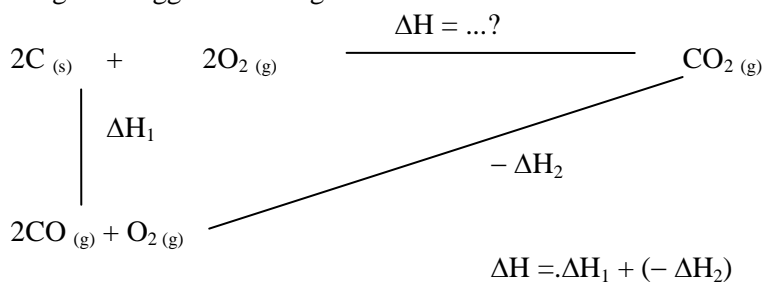
Reaksi pembentukan CO dari grafik.



Reaksi Lengkap

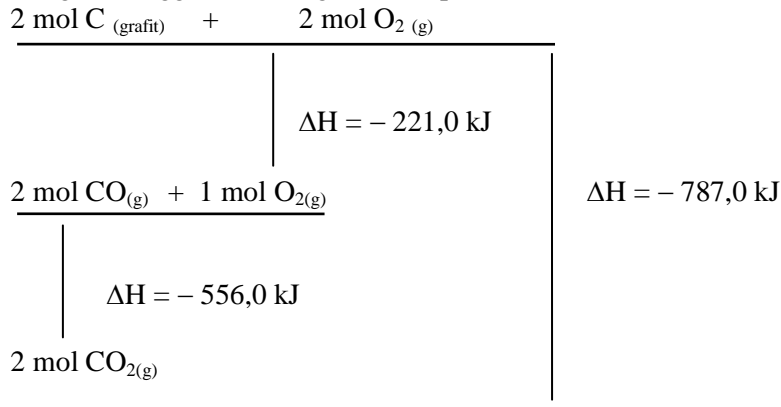


dengan menggunakan diagram reaksi



$$\begin{aligned}\Delta H &= \Delta H_1 - \Delta H_2 \\ &= (-787 + 566) \text{ kJ} \\ &= -221,0 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan diagram entalpi reaksi:



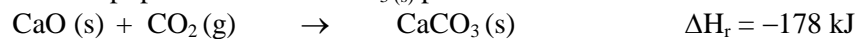
F. ENTALPI PEMBENTUKAN STANDAR

Entalpi pembentukan standar suatu senyawa (ΔH_f^0) adalah perubahan entalpi yang terjadi dalam reaksi pembentukan satu mol senyawa, dalam keadaan standar, dari unsur-unsurnya (juga dalam keadaan standar) dan dalam keadaan awal pada $T = 298 \text{ K}$, $p = 1 \text{ atm}$. Secara umum

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \sum \Delta H_f^0(\text{hasil reaksi}) - \sum \Delta H_f^0(\text{pereaksi}) \quad (12)$$

Contoh : 5

Tentukan entalpi pembentukan $\text{CaCO}_3(\text{s})$ pada 25°C kalau diketahui:



dan entalpi pembentukan $\text{CaO}(\text{s})$ dan $\text{CO}_2(\text{g})$ berturut-turut -635 dan -394 kJmol^{-1}

Jawab :

$$\Delta H_{\text{reaksi}}^0 = \Delta H_f^0(\text{CaCO}_3) - \Delta H_f^0(\text{CO}_2) - \Delta H_f^0(\text{CaO})$$

$$\Delta H_f^0(\text{CaCO}_3) = -178 + (-635) + (-394) = -1207 \text{ kJmol}^{-1}$$

Latihan:

1. Satu mol gas ideal pada suhu $300 \text{ }^\circ\text{K}$ dikembangkan secara isoterm dan reversibel dari volume 5L menjadi 20L . Hitung besarnya kalor yang menyertai proses tersebut!
2. Sebanyak 2 mol gas ideal dinaikkan secara isoterm (T tetap) pada $27 \text{ }^\circ\text{C}$ dari volume 1L menjadi 10L . Hitung kerja yang dilakukan oleh gas jika proses pada pemuaiannya itu berlangsung!
 - a. Terhadap tekanan luar tetap 2 atm .
 - b. Secara reversibel.

3. Diketahui perubahan entalpi untuk reaksi berikut:
 $2\text{Cr}_{(s)} + 3/2\text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_{3(s)} \quad \Delta H = -1130 \text{ kJ}$
 $\text{C}_{(s)} + 1/2\text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{(g)} \quad \Delta H = -110 \text{ kJ}$
 Hitung perubahan entalpi (dalam kJ) untuk reaksi:
 $3\text{C}_{(s)} + \text{Cr}_2\text{O}_{3(s)} \rightarrow 2\text{Cr}_{(s)} + 3\text{CO}_{(g)}$
4. Kalor pembakaran $\text{NH}_3_{(g)}$ untuk menghasilkan $\text{NO}_{(g)}$ dan $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ adalah $-1169,54 \text{ kJ}$.
 $4\text{NH}_3_{(g)} + 5\text{O}_{2(g)} \rightarrow 4\text{NO}_{(g)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(l)}$
 Jika $\Delta H_f^\circ, \text{H}_2\text{O}_{(l)} = -285,8 \text{ kJ/mol}$
 $\Delta H_f^\circ, \text{NO}_{(g)} = +90,2 \text{ kJ/mol}$
 Hitung kalor pembentukan standar NH_3 !
5. Perhatikan reaksi berikut:
 $\text{C}_{(s)} + \text{CO}_2_{(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{(g)} \quad \Delta H_{291} = +176,4 \text{ kJ}$
 Hitung kalor reaksi pada 60°C , jika diketahui $C_p(\text{C}) = 10,00 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, $C_p(\text{CO}) = 29,26 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ (harga C_p ini merupakan harga rata-rata antara 18°C dan 60°C)
6. Dengan menggunakan ΔH°_r untuk pembakaran karbon menjadi karbon dioksida dan hidrogen menjadi air, bersama dengan harga pembakaran metana $\text{CH}_4_{(g)}$
 $\text{C}_{(s)} + \text{O}_2_{(g)} \rightarrow \text{CO}_2_{(g)} \quad \Delta H^\circ = -393,52 \text{ kJ}$
 $\text{H}_2_{(g)} + 1/2\text{O}_2_{(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(l)} \quad \Delta H^\circ = -285,83 \text{ kJ}$
 $\text{CH}_4_{(g)} + 2\text{O}_2_{(g)} \rightarrow \text{CO}_2_{(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \quad \Delta H^\circ = -890,37 \text{ kJ}$
 Hitung harga ΔH° untuk reaksi pembentukan metana:
 $\text{C}_{(s)} + 2\text{H}_2_{(g)} \rightarrow \text{CH}_4_{(g)}$
7. Methanol (CH_3OH) saat ini seringkali digunakan sebagai pengganti bensin untuk kendaraan bermotor dengan performansi tinggi. Pada keadaan STP methanol berwujud cair sehingga untuk dapat dibakar pada mesin bakar haruslah diubah dalam bentuk gas. Titik didih dari methanol adalah 65°C . Untuk mendesain mesin yang dapat menggunakan bahan bakar ini, konsep termodinamika haruslah dipahami.
 Pertanyaan:
 a. Tuliskan persamaan reaksi pembakaran methanol
 b. Hitunglah panas/energy (kJ) yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 kg methanol pada titik didih normalnya apabila temperature methanol awal adalah 25°C .
 c. Gunakan nilai dari energy ikatan, untuk menghitung entalpi pembakaran dari methanol.
 d. Gunakan nilai dari entalpi pembentukan standar dari masing-masing senyawa untuk menghitung entalpi dari reaksi pembakaran tersebut.
 e. Hitunglah panas/energy yang dihasilkan dari pembakaran 1 kg methanol (gunakan nilai ΔH dari hasil perhitungan point d).
 Diketahui energy ikatan dalam kJ/mol
 $\text{C} - \text{H} = 413$; $\text{C} - \text{O} = 351$; $\text{O} - \text{H} = 463$; $\text{C} = \text{O} = 728$; $\text{O}=\text{O} = 498$
 Entalpi pembentukan:
 $\Delta H^\circ_{f(g)}(\text{CH}_3\text{OH}) = -200,66$; $\Delta H^\circ_{f(g)}(\text{CO}_2) = -393,51$
 $\Delta H^\circ_{f(g)}(\text{H}_2\text{O}) = -241,82$; $\Delta H^\circ_{f(g)}(\text{O}_2) = 0$
 Kapasitas panas (C_p) dari methanol adalah $81,6 \text{ J/Kmol}$
 Kalor penguapan dari methanol adalah 38 kJ/mol .