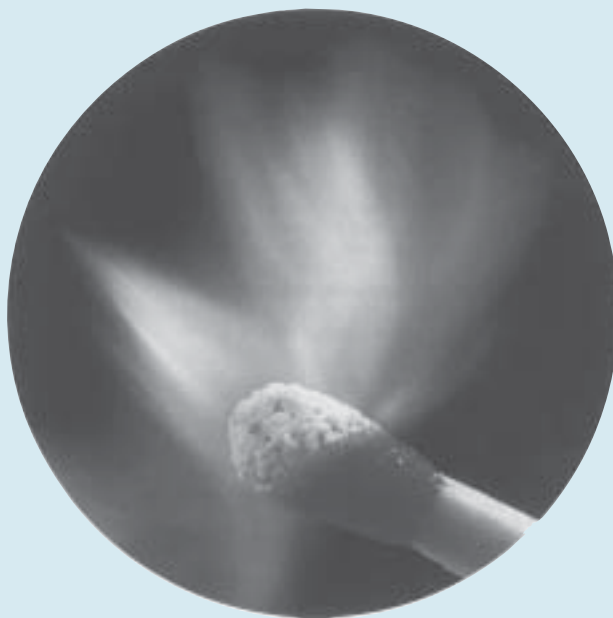


## Bab III

# Termokimia



*Sumber: Silberberg, Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change*

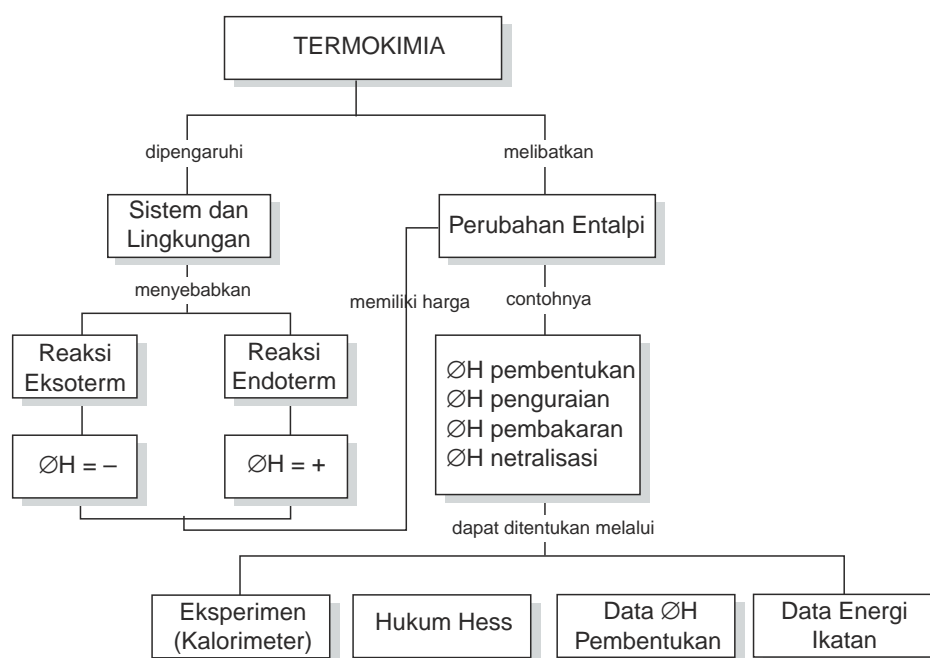
Ketika batang korek api dinyalakan terjadi reaksi kimia dan pelepasan energi.

### TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti pembelajaran siswa dapat :

1. menjelaskan pengertian entalpi suatu at dan perubahannya,
2. menjelaskan pengertian reaksi eksoterm dan endoterm,
3. menentukan  $\Delta H$  reaksi berdasarkan eksperimen kalorimeter dan hukum Hess,
4. menentukan  $\Delta H$  reaksi berdasarkan data perubahan entalpi pembentukan standar dan data energi ikatan.

## PETA KONSEP



Untuk memasak makanan diperlukan energi panas. Energi panas ini dapat diperoleh dari pembakaran bahan bakar gas, minyak tanah, atau kayu bakar. Untuk menjalankan mesin-mesin di pabrik dan alat transportasi juga diperlukan energi yang diperoleh dari bahan bakar.

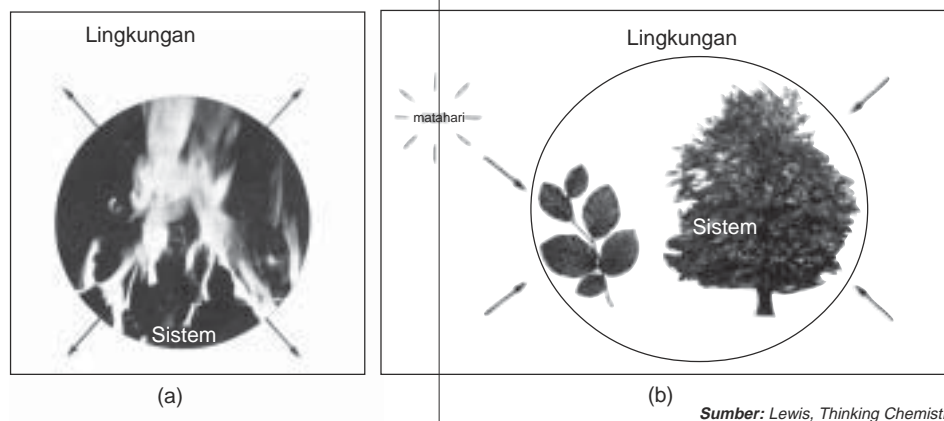
Bahan bakar merupakan salah satu contoh sumber energi panas. Energi yang terkandung dalam suatu zat disebut *entalpi* dengan lambang  $H$ . Setiap reaksi kimia selalu disertai perubahan entalpi ( $\Delta H$ ). Pada reaksi kimia energi yang dilepaskan maupun diserap berbentuk kalor. Kalor dapat berpindah dari sistem ke lingkungan atau dari lingkungan ke sistem.

Pada bab ini akan diuraikan tentang sistem dan lingkungan, perubahan entalpi, penentuan  $\Delta H$  reaksi, dan dampak pembakaran bahan bakar terhadap lingkungan.

## A. Sistem dan Lingkungan

Matahari adalah ciptaan Tuhan yang merupakan sumber energi bagi alam semesta baik berupa energi panas maupun energi cahaya. Tumbuhan hijau menyerap cahaya matahari dan mengubah zat-zat pada daun menjadi karbohidrat melalui fotosintesis. Karbohidrat merupakan sumber energi bagi makhluk hidup. Peristiwa ini merupakan salah satu contoh hukum kekekalan energi yaitu energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi dapat diubah dari suatu bentuk energi menjadi bentuk yang lain.

Peristiwa lain yang menunjukkan hukum kekekalan energi pada kimia, misalnya batu baterai dapat menyalakan lampu senter. Pada batu baterai reaksi kimia yang terjadi menghasilkan energi listrik, kemudian energi listrik berubah menjadi energi cahaya. Pada proses-proses tersebut tidak ada energi yang hilang tetapi energi berubah ke bentuk energi lain. Terjadinya perpindahan energi pada sistem dan lingkungan dapat digambarkan seperti Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** (a) Perpindahan energi dari sistem ke lingkungan  
(b) Perpindahan energi dari lingkungan ke sistem

Pada Gambar 3.1(a), bahan bakar bereaksi dengan gas oksigen di udara dan menimbulkan panas di sekelilingnya. Pada proses ini terjadi perpindahan energi dari *sistem ke lingkungan*.

Pada Gambar 3.1(b), daun yang berklorofil berfungsi sebagai sistem akan menyerap sinar matahari dan CO<sub>2</sub> dari lingkungan, karbon dioksida bereaksi dengan air membentuk karbohidrat dan gas oksigen dalam proses fotosintesis. Pada proses ini terjadi perpindahan energi dari lingkungan ke sistem. Berdasarkan ini maka *sistem* adalah segala sesuatu yang dipelajari perubahan energinya, sedangkan *lingkungan* adalah segala yang berada di sekeliling sistem. Dalam ilmu kimia, sistem adalah sejumlah zat yang bereaksi, sedangkan lingkungan adalah segala sesuatu di luar zat-zat tersebut misalnya tabung reaksi.

## B. Perubahan Entalpi

Energi yang terkandung di dalam suatu sistem atau zat disebut *entalpi* (H). Entalpi merupakan sifat ekstensif dari materi maka bergantung pada jumlah mol zat.

Entalpi suatu sistem tidak dapat diukur, yang dapat diukur adalah perubahan entalpi yang menyertai perubahan zat, karena itu kita dapat menentukan entalpi yang dilepaskan atau diserap pada saat terjadi reaksi.

Perubahan energi pada suatu reaksi yang berlangsung pada tekanan tetap disebut *perubahan entalpi*. Perubahan entalpi dinyatakan dengan lambang  $\Delta H$ , dengan satuan Joule dan kilo Joule.

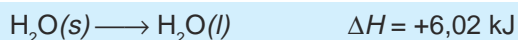
### Contoh:

Entalpi air ditulis H<sub>2</sub>O. Air dapat berwujud cair dan padat. Entalpi yang dimilikinya berbeda, H<sub>2</sub>O(l) lebih besar daripada H<sub>2</sub>O(s). Oleh karena itu untuk mengubah es menjadi air diperlukan energi dari lingkungan.

Harga  $\Delta H$  pada peristiwa perubahan es menjadi air adalah:

$$\Delta H = H_{\text{H}_2\text{O}(l)} - H_{\text{H}_2\text{O}(s)}$$

Perubahan ini dapat ditulis dalam suatu persamaan reaksi yang disebut persamaan termokimia sebagai berikut.



Berdasarkan perubahan entalpi, dikenal dua macam reaksi yaitu *reaksi eksoterm* dan reaksi *endoterm*.

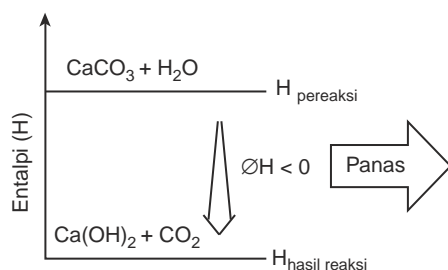
### 1. Reaksi Eksoterm

Pernahkah kamu memasukkan bongkahan batu kapur ke dalam air? Pada air lama-lama akan terjadi gelembung-gelembung gas dan campuran air dengan kapur menghasilkan panas.

Panas dihasilkan dari zat-zat bereaksi yang merupakan sistem kemudian dilepaskan ke lingkungan. Reaksi ini termasuk *reaksi eksoterm*. Pada reaksi eksoterm energi panas atau kalor berpindah dari sistem ke lingkungan.

Entalpi sistem sebelum reaksi lebih besar daripada sesudah reaksi atau

$$H_{\text{pereaksi}} > H_{\text{hasil reaksi}}$$

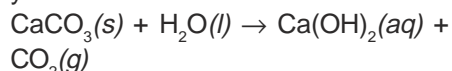


Sumber: Silberberg, Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change

Gambar 3.2 Proses eksoterm

Perubahan entalpi sistem menjadi lebih kecil dari 0 atau  $\Delta H = -$ .

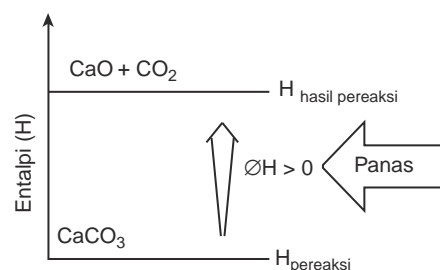
Penulisan persamaan termokimianya yaitu:



$$\Delta H = -97,37 \text{ kJ}$$

Proses eksoterm dapat digambarkan seperti Gambar 3.2.

## 2. Reaksi Endoterm



Sumber: Silberberg, Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change

Gambar 3.3 Proses endoterm

Reaksi endoterm kebalikan dari reaksi eksoterm. Pada *reaksi endoterm* sistem menyerap panas dari lingkungan. Entalpi sistem sesudah reaksi lebih besar daripada sebelum reaksi:

$$H_{\text{pereaksi}} < H_{\text{hasil reaksi}}$$

Perubahan entalpi sistem menjadi lebih besar dari 0 atau  $\Delta H = +$ .

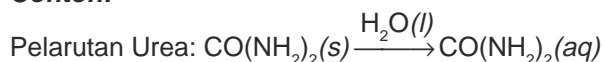
Perhatikan proses endoterm pada reaksi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO} + \text{CO}_2$  pada Gambar 3.3.

Untuk mengubah  $\text{CaCO}_3(s)$  menjadi batu gamping ( $\text{CaO}$ ) dan gas  $\text{CO}_2$  diperlukan energi panas. Persamaan termokimianya:

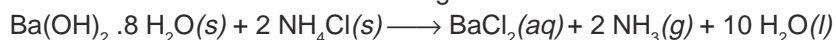


Reaksi endoterm ada juga yang berlangsung spontan, sistem dengan sendirinya menyerap kalor dari lingkungan. Pada proses ini akan terjadi penurunan suhu lingkungan, jadi kalau kita pegang wadah sistem akan terasa dingin.

**Contoh:**



Reaksi barium hidroksida hidrat dengan amonium klorida.



## Latihan 3.1

Selesaikan soal-soal berikut!

1. Jika kamu pegang gelas yang berisi air es, kamu akan merasakan dingin di tangan.
  - a. Pada peristiwa tersebut mana yang berperan sebagai sistem dan lingkungan?
  - b. Sebutkan jenis reaksi yang terjadi selama peristiwa berlangsung! Jelaskan mengapa dingin!
2. Apakah proses berikut termasuk reaksi eksoterm atau endoterm?
  - a. Fotosintesis
  - b. Gas terbakar
  - c. Air menguap
  - d. Es mencair
  - e. Alkohol menguap

## 3. Macam-Macam Perubahan Entalpi ( $\Delta H$ )

Besarnya perubahan entalpi suatu reaksi bergantung pada jumlah zat yang bereaksi, wujud zat, suhu, dan tekanan, maka perubahan entalpi dihitung berdasarkan keadaan standar yaitu keadaan pada suhu dan tekanan standar pada suhu 25°C (298 K) dan tekanan 1 atm.

Perubahan entalpi reaksi ada yang berupa perubahan entalpi pembentukan ( $\Delta H_f^\circ$ ), perubahan entalpi penguraian ( $\Delta H_d^\circ$ ), perubahan entalpi pembakaran ( $\Delta H_c^\circ$ ), dan perubahan entalpi netralisasi ( $\Delta H_n^\circ$ ).

### a. Perubahan Entalpi Pembentukan Standar ( $\Delta H_f^\circ$ )

*Perubahan entalpi pembentukan standar,  $\Delta H_f^\circ$  suatu zat adalah perubahan entalpi yang terjadi pada pembentukan 1 mol zat dari unsur-unsurnya diukur pada keadaan standar.*

**Contoh:**

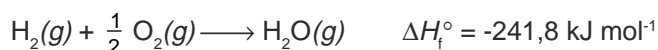
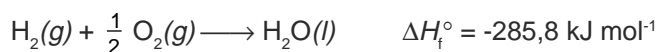
- 1) Perubahan entalpi pembentukan AgCl adalah perubahan entalpi dari reaksi:



- 2) Perubahan entalpi pembentukan  $\text{KMnO}_4$  adalah perubahan entalpi dari reaksi:



$\Delta H_f^\circ$  bergantung pada wujud zat yang dihasilkan, misalnya:



$\Delta H_f^\circ$  air dalam wujud cair berbeda dengan  $\Delta H_f^\circ$  air dalam wujud padat.

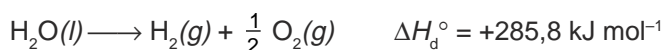
Berdasarkan perjanjian,  $\Delta H_f^\circ$  unsur = 0 pada semua temperatur, misalnya:  
 $\Delta H_f^\circ \text{ C} = 0$ ,  $\Delta H_f^\circ \text{ Fe} = 0$ ,  $\Delta H_f^\circ \text{ O}_2 = 0$ ,  $\Delta H_f^\circ \text{ N}_2 = 0$ .

### b. Perubahan Entalpi Penguraian Standar $\Delta H_d^\circ$

*Perubahan entalpi penguraian standar* merupakan kebalikan dari perubahan entalpi pembentukan.

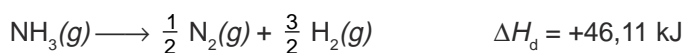
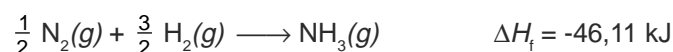
$\Delta H_d^\circ$  suatu zat adalah perubahan entalpi yang terjadi pada reaksi penguraian 1 mol zat menjadi unsur-unsur pada keadaan standar.

**Contoh:**



Marquis de Laplace dari Prancis dalam penelitiannya menemukan bahwa jumlah kalor yang dibebaskan pada pembentukan senyawa dari unsur-unsurnya sama dengan jumlah kalor yang diperlukan pada penguraian senyawa tersebut menjadi unsur-unsurnya. Pernyataan ini dikenal sebagai *Hukum Laplace*.

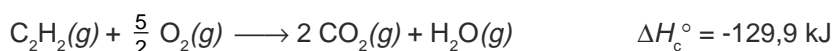
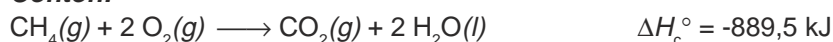
**Contoh:**



### c. Perubahan Entalpi Pembakaran $\Delta H_c^\circ$

Perubahan entalpi pembakaran,  $\Delta H_c^\circ$  adalah perubahan entalpi yang terjadi pada pembakaran 1 mol unsur atau senyawa pada keadaan standar.

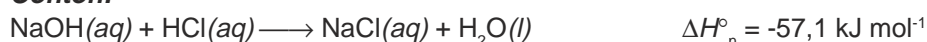
**Contoh:**



### d. Perubahan Entalpi Netralisasi $\Delta H_n^\circ$

*Perubahan entalpi netralisasi* adalah perubahan entalpi yang terjadi pada saat reaksi antara asam dengan basa baik tiap mol asam atau tiap mol basa.

**Contoh:**



## Latihan 3.2

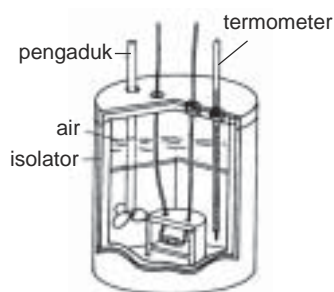
Selesaikan soal-soal berikut!

- Diketahui:  $\Delta H_f^\circ \text{NH}_3(g) = -45,9 \text{ kJ mol}^{-1}$ 
  - Hitung  $\Delta H$  pembentukan 2 mol gas  $\text{NH}_3$ .
  - Hitung  $\Delta H$  penguraian 1 mol gas  $\text{NH}_3$ .
  - Tuliskan masing-masing persamaan termokimianya.
- Diketahui persamaan reaksi:  
$$3 \text{Fe}(s) + 2 \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4(s) \quad \Delta H = -1118 \text{ kJ}$$
  
( $A_r \text{Fe} = 56, \text{O} = 16$ )  
Tentukan:
  - zat yang dibakar,
  - perubahan entalpi pembentukan 116 gram  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,
  - perubahan entalpi penguraian  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,
  - perubahan entalpi pembakaran Fe.
- Diketahui persamaan reaksi:  
$$2 \text{H}_2\text{SO}_4(l) \longrightarrow 2 \text{H}_2(g) + 2 \text{S}(s) + 4 \text{O}_2(g) \quad \Delta H = +1882 \text{ kJ}$$
  
Tentukan:
  - $\Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{SO}_4$
  - $\Delta H_d^\circ \text{H}_2\text{SO}_4$
  - Apakah reaksi pembentukan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  termasuk reaksi eksoterm atau reaksi endoterm?

## C. Penentuan $\Delta H$ Reaksi

Perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) suatu reaksi dapat ditentukan melalui berbagai cara yaitu melalui eksperimen, berdasarkan data perubahan entalpi pembentukan ( $\Delta H_f^\circ$ ), berdasarkan hukum Hess, dan berdasarkan energi ikatan.

### 1. Penentuan $\Delta H$ Melalui Eksperimen



Sumber: Ebbing, General Chemistry

Gambar 3.4 Kalorimeter

Perubahan entalpi reaksi dapat ditentukan dengan menggunakan suatu alat yang disebut *kalorimeter* (alat pengukur kalor). Dalam kalorimeter, zat yang akan direaksikan dimasukkan ke dalam tempat reaksi. Tempat ini dikelilingi oleh air yang telah diketahui massanya. Kalor reaksi yang dibebaskan terserap oleh air dan suhu air akan naik. Perubahan suhu air ini diukur dengan termometer. Kalorimeter ditempatkan dalam wadah terisolasi yang berisi air untuk menghindarkan terlepasnya kalor.



Berdasarkan hasil penelitian, untuk menaikkan suhu 1 kg air sebesar 1°C diperlukan kalor sebesar 4,2 kJ atau 1 kkal.

Untuk 1 gram air diperlukan kalor sebesar 4,2 J atau 1 kal. Jumlah kalor ini disebut kalor jenis air dengan lambang  $c$ .

$$c = 4,2 \text{ J g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Jumlah kalor yang terserap ke dalam air dihitung dengan mengalikan 3 faktor yaitu massa air dalam kalorimeter (gram), perubahan suhu air ( $^\circ\text{C}$ ), dan kalor jenis air. Rumusnya ditulis:

$$q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$q$  = kalor yang dibebaskan atau diserap

$m$  = massa air (gram)

$c$  = kapasitas kalor air (J)

$\Delta t$  = perubahan suhu ( $^\circ\text{C}$ )

### Contoh Soal

Di dalam kalorimeter terdapat zat yang bereaksi secara endoterm. Reaksi tersebut menyebabkan 1 kg air yang terdapat dalam kalorimeter mengalami penurunan suhu 5°C. Tentukan kalor reaksi dari reaksi tersebut!

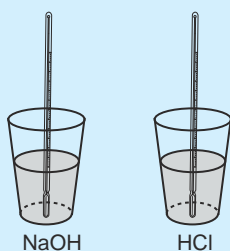
*Penyelesaian:*

$$\begin{aligned} q &= m \cdot c \cdot \Delta t \\ &= 1.000 \text{ g} \cdot 4,2 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 5^\circ\text{C} \\ &= 21.000 \text{ J} = 21 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Penentuan perubahan entalpi reaksi dapat pula menggunakan kalorimeter sederhana misalnya gelas yang terbuat dari styrofoam atau plastik. Cara untuk mencobanya lakukan kegiatan berikut.

### KEGIATAN 3.1 Eksperimen

#### Penentuan $\Delta H$ Reaksi dengan Kalorimeter Sederhana



Pada percobaan ini akan ditentukan  $\Delta H$  reaksi netralisasi dari reaksi larutan HCl 1 M larutan NaOH 1 M.

*Langkah kerja:*

1. Isi gelas dengan 50 mL NaOH 1 M dan gelas yang lain diisi dengan 50 mL HCl 1 M. Ukur suhu setiap larutan dan hitung suhu rata-rata kedua larutan sebagai suhu awal.

2. Campurkan NaOH dengan HCl aduk sambil amati perubahan suhunya.
3. Catat suhu maksimum dan hitung kenaikan suhu dari suhu awal rata-rata.

*Pertanyaan:*

1. Hitung  $\Delta H$  reaksi antara larutan NaOH dan HCl tersebut. (diketahui kalor jenis larutan = kalor jenis air =  $4,2 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ . Kapasitas kalorimeter = 0, massa jenis air =  $1 \text{ g mL}^{-1}$ ).
2. Tuliskan persamaan termokimianya.

Untuk menghitung  $\Delta H$  reaksi dari eksperimen di atas, perhatikan contoh soal berikut.

### Contoh Soal

50 mL larutan HCl 1M yang suhunya  $22^\circ\text{C}$  dicampurkan dengan 50 mL larutan NaOH 1 M yang suhunya  $22^\circ\text{C}$ . Pada reaksi tersebut terjadi kenaikan suhu sampai  $28,87^\circ\text{C}$ . Tentukan,  $\Delta H_{\text{R}}$  netralisasi dan tulis persamaan termokimia reaksi tersebut.

*Penyelesaian:*

Jumlah mol HCl =  $50 \text{ mL} \times 1 \text{ M} = 50 \text{ mmol} = 0,05 \text{ mol}$

Jumlah mol NaOH =  $50 \text{ mL} \times 1 \text{ M} = 50 \text{ mmol} = 0,05 \text{ mol}$

Volum larutan = volum air = 100 mL

Massa larutan = massa air =  $100 \text{ mL} \times 1 \text{ g mL}^{-1} = 100 \text{ g}$

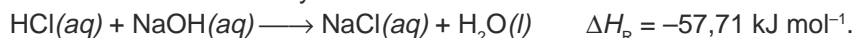
$$\begin{aligned} q &= m \times c \times \Delta t \\ &= 100 \text{ g} \times 4,2 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot (28,87 \text{ °C} - 22 \text{ °C}) \\ &= 2885,4 \text{ J} = 2,8854 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{R}} = -q$$

$$\Delta H_{\text{R}} \text{ untuk } 0,05 \text{ mol H}_2\text{O} = -2,8854 \text{ kJ}$$

$$\Delta H \text{ reaksi untuk } 1 \text{ mol H}_2\text{O} = \frac{-2,8854 \text{ kJ}}{0,05 \text{ mol}} = -57,71 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Persamaan termokimianya:



### Latihan 3.3

100 mL larutan kalium hidroksida 1M direaksikan dengan 100 mL larutan asam klorida 1 M. Suhu awal masing-masing berturut-turut  $24^\circ\text{C}$  dan  $23,4^\circ\text{C}$ . Setelah bereaksi, suhu maksimum  $32,2^\circ\text{C}$ .

- a. Tentukan  $\Delta H$  netralisasi dari reaksi tersebut!
- b. Tulis persamaan termokimianya!
- c. Tentukan  $\Delta H$  reaksi jika 2 mol air terbentuk berdasarkan data reaksi ini.

## 2. Penentuan $\Delta H$ Berdasarkan $\Delta H_f^\circ$

Berdasarkan perubahan entalpi pembentukan standar zat-zat yang ada dalam reaksi, perubahan entalpi reaksi dapat dihitung dengan rumus:

$$\Delta H_R^\circ = \sum \Delta H_f^\circ \text{ hasil reaksi} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ pereaksi}$$

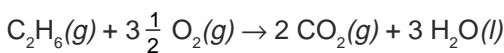
$\Delta H_R^\circ$  = perubahan entalpi reaksi standar

### Contoh Soal

Tentukan  $\Delta H$  reaksi pembakaran  $C_2H_6$  jika diketahui:

$$\Delta H_f^\circ C_2H_6 = -84,7 \text{ kJ mol}^{-1}, \Delta H_f^\circ CO_2 = -393,5 \text{ kJ mol}^{-1}, \Delta H_f^\circ H_2O = -285,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Penyelesaian:



$$\begin{aligned} \Delta H_R C_2H_6 &= [2 \cdot \Delta H_f^\circ CO_2(g) + 3 \cdot \Delta H_f^\circ H_2O(l)] - [\Delta H_f^\circ C_2H_6(g) + 3 \frac{1}{2} \cdot \Delta H_f^\circ O_2(g)] \\ &= [2 \cdot (-393,5) + 3 \cdot (-285,8)] - [-84,7 + 0] = -1559,7 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Jadi,  $\Delta H$  pembakaran  $C_2H_6$  adalah  $-1559,7 \text{ kJ}$ .

Perubahan entalpi pembentukan beberapa zat dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Perubahan entalpi pembentukan beberapa zat ( $t = 25^\circ C$ )

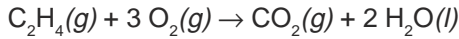
Zat	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Zat	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
$H_2(g)$	0	$CCl_4(g)$	-96,0
$O_2(g)$	0	$C_2H_5OH(l)$	-277,6
$N_2(g)$	0	$SiO_2(g)$	-910,9
$C(s)$	0	$PbO(s)$	-219,0
$Fe(s)$	0	$NH_3(g)$	-45,9
$Si(s)$	0	$NO_2(g)$	33,2
$H_2O(g)$	-241,8	$SO_2(g)$	-296,8
$H_2O(l)$	-285,8	$H_2S(g)$	-20
$CO(g)$	-110,5	$HF(g)$	-273
$CO_2(g)$	-393,5	$HCl(g)$	-92,3
$C_2H_4(g)$	+52,5	$AgCl(s)$	-127,0
$C_2H_6(g)$	-84,7	$AgBr(s)$	-99,5
$C_6H_6(l)$	+49,7	$AgI(s)$	-62,4
$CH_3OH(l)$	-238,6	$NO(g)$	90,3
$CS_2(g)$	+177	$CH_4(g)$	-74,9

Sumber: Holtzclaw, *General Chemistry with Qualitative Analysis*

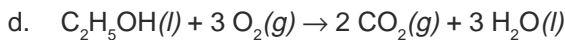
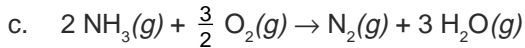
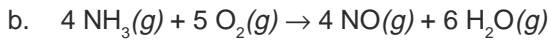
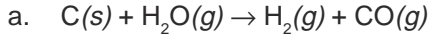
### Latihan 3.4

Gunakan data  $\Delta H_f$  ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )

1. Tentukan  $\Delta H$  reaksi pembakaran gas etena menghasilkan gas karbon dioksida dengan air!



2. Tentukan  $\Delta H$  reaksi-reaksi berikut:



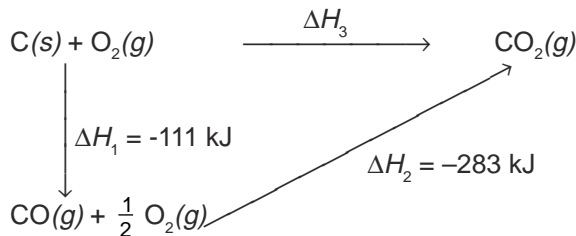
### 3. Penentuan $\Delta H$ Berdasarkan Hukum Hess

Perubahan entalpi reaksi kadang-kadang tidak dapat ditentukan secara langsung tetapi harus melalui tahap-tahap reaksi. Misalnya untuk menentukan perubahan entalpi pembentukan  $\text{CO}_2$  dapat dilakukan dengan berbagai cara.

*Cara 1*  $\text{C}(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) \quad \Delta H = -394 \text{ kJ}$

*Cara 2* C dengan  $\text{O}_2$  bereaksi dulu membentuk CO, tahap berikutnya CO bereaksi dengan  $\text{O}_2$  menghasilkan  $\text{CO}_2$ .

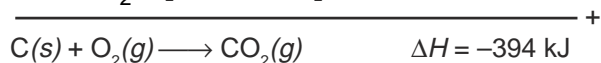
Perhatikan diagram berikut



$$\begin{aligned} \Delta H_3 &= \Delta H_1 + \Delta H_2 \\ &= -111 \text{ kJ} + (-283 \text{ kJ}) \\ &= -394 \text{ kJ} \end{aligned}$$

*Cara 3*  $\text{C}(s) + \frac{1}{2} \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}(g) \quad \Delta H = -111 \text{ kJ}$

$\text{CO}(g) + \frac{1}{2} \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) \quad \Delta H = -283 \text{ kJ}$



Pada cara 1, reaksi berlangsung satu tahap, sedangkan cara 2 dan cara 3 berlangsung dua tahap. Ternyata dengan beberapa cara, perubahan entalpinya sama yaitu  $-394 \text{ kJ}$ .

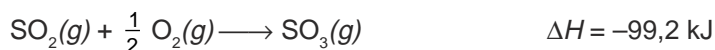
Seorang ilmuwan, *German Hess*, telah melakukan beberapa penelitian perubahan entalpi ini dan hasilnya adalah bahwa perubahan entalpi reaksi dari suatu reaksi tidak bergantung pada jalannya reaksi, apakah reaksi tersebut berlangsung satu tahap atau beberapa tahap. Penemuan ini dikenal dengan Hukum Hess yang berbunyi:

Perubahan entalpi hanya bergantung pada keadaan awal dan keadaan akhir reaksi.

Berdasarkan penelitian Hess ini, perubahan entalpi suatu reaksi yang tidak dapat ditentukan dengan kalorimeter dapat ditentukan dengan perhitungan. Berikut ini contoh perhitungan penentuan perubahan entalpi.

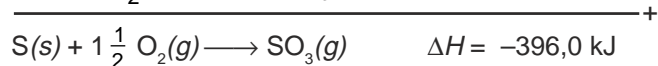
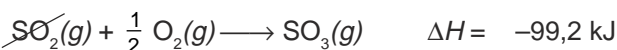
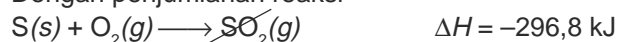
### Contoh Soal

Tentukan perubahan entalpi pembentukan gas  $\text{SO}_3$  jika diketahui:



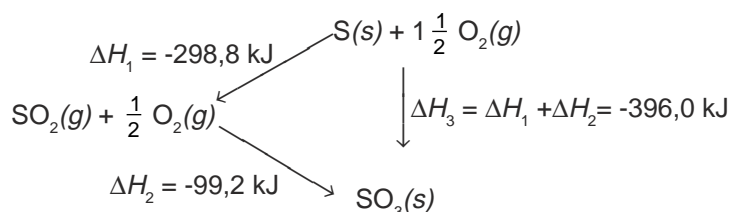
*Penyelesaian:*

*Cara 1* Dengan penjumlahan reaksi



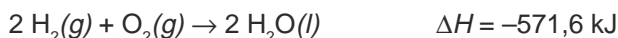
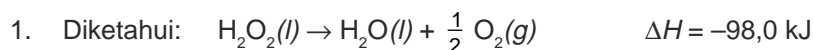
Jadi  $\Delta H$  reaksi pembentukan  $\text{SO}_3$  adalah  $-396 \text{ kJ}$ .

*Cara 2* Dengan diagram perubahan entalpi



### Latihan 3.5

Selesaikan soal-soal berikut!



Tentukan  $\Delta H$  reaksi  $\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2(l)$  dengan menggunakan kedua reaksi tersebut!

2. Diketahui:  $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$   $\Delta H = -393,5 \text{ kJ}$   
 $H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$   $\Delta H = -285,8 \text{ kJ}$   
 $C_2H_6(g) + 3\frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow 2 CO_2(g) + 3 H_2O(g)$   $\Delta H = -1559,7 \text{ kJ}$
- Tentukan: a.  $\Delta H$  reaksi  $2 C(s) + 3 H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$   
 b. Buat diagram perubahan entalpi reaksinya!
3. Hitung  $\Delta H$  pembentukan etana dalam reaksi:  $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$  dengan menggunakan reaksi pembakaran berikut ini.
- $C_2H_4(g) + 3 O_2(g) \rightarrow 2 CO_2(g) + 2 H_2O(l)$   $\Delta H = -1401 \text{ kJ}$   
 $C_2H_6(g) + 3\frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow 2 CO_2(g) + 3 H_2O(l)$   $\Delta H = -1550 \text{ kJ}$   
 $H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$   $\Delta H = -286 \text{ kJ}$

Agar lebih memahami penentuan perubahan entalpi berdasarkan Hukum Hess, lakukan kegiatan berikut secara berkelompok.

### KEGIATAN 3.2 Eksperimen

#### Penentuan Perubahan Entalpi berdasarkan Hukum Hess

Pada percobaan ini akan diamati  $\Delta H$  reaksi antara NaOH padat dan larutan HCl 0,5 M dengan dua cara.

*Cara 1:* NaOH padat dilarutkan dulu dalam air selanjutnya larutan NaOH tersebut direaksikan dengan larutan HCl.

*Cara 2:* NaOH padat langsung dilarutkan dalam HCl.

*Langkah kerja:*

- Cara 1 :*
- Timbang 2 gram NaOH, simpan dalam wadah tertutup. Siapkan 50 mL air, ukur suhunya. Masukkan NaOH tersebut ke dalam air, aduk dan catat suhu maksimumnya. Hitung  $\Delta H$  reaksi pelarutan NaOH ( $\Delta H_1$ ).
  - Siapkan 50 mL HCl 1 M, ukur suhunya.
  - Ukur suhu 50 mL larutan NaOH yang dibuat sebelumnya.
  - Reaksikan larutan NaOH tersebut dengan larutan HCl, catat suhu maksimumnya. Hitung  $\Delta H$  reaksinya ( $\Delta H_2$ ).
- Cara 2 :*
- Timbang 2 gram NaOH, simpan dalam wadah tertutup.
  - Siapkan 100 mL larutan HCl 0,5 M, ukur suhunya.
  - Reaksikan NaOH padat dengan HCl, catat suhu maksimumnya. Hitung  $\Delta H$  reaksinya ( $\Delta H_3$ ).

Pertanyaan:

1. Hitung  $\Delta H_1$ ,  $\Delta H_2$ , dan  $\Delta H_3$  untuk tiap mol NaOH!
2. Tulis persamaan reaksi termokimia pada
  - a. pelarutan NaOH padat menjadi larutan NaOH(aq),
  - b. reaksi netralisasi NaOH(aq) dengan HCl(aq),
  - c. reaksi netralisasi NaOH(s) dengan HCl(aq).
3. Buat diagram reaksi pada percobaan di atas!
4. Menurut Hukum Hess  $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$   
Apakah data percobaanmu sama dengan Hukum Hess?  
Kalau tidak, sebutkan beberapa faktor penyebabnya!

Dari percobaan di atas kamu akan mendapatkan  $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ .

#### 4. Penentuan $\Delta H$ Berdasarkan Energi Ikatan

Suatu reaksi kimia terjadi akibat pemutusan ikatan-ikatan kimia dan pembentukan ikatan-ikatan kimia yang baru. Pada waktu pembentukan ikatan kimia dari atom-atom akan terjadi pembebasan energi, sedangkan untuk memutuskan ikatan diperlukan energi. Jumlah energi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan antaratom dalam 1 mol molekul berwujud gas disebut *energi ikatan*. Makin kuat ikatan makin besar energi yang diperlukan. Beberapa harga energi ikatan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Beberapa harga energi ikatan

Ikatan	Energi Ikatan kJ mol <sup>-1</sup>	Ikatan	Energi Ikatan kJ mol <sup>-1</sup>
H – H	436	C – O	350
H – C	415	C = O	741
H – N	390	C – Cl	330
H – F	569	N ≡ N	946
H – Cl	432	O = O	498
H – Br	370	F – F	160
C – C	345	Cl – Cl	243
C = C	611	I – I	150
C – Br	275	Br – Br	190
C ≡ C	837	C ≡ N	891
O – H	464		

Sumber: Holtzclaw, *General Chemistry with Qualitative Analysis*

Pada Tabel 3.2, energi ikatan H – H = 436 kJ mol<sup>-1</sup>, berarti untuk memutuskan ikatan H – H menjadi atom-atom H dalam satu mol gas H<sub>2</sub> diperlukan 436 kJ mol<sup>-1</sup>. Harga energi ikatan dapat dipakai untuk menentukan  $\Delta H$  suatu reaksi.

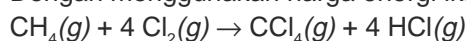
$$\Delta H_R = \sum \text{energi ikatan yang diputuskan} - \sum \text{energi ikatan yang dibentuk}$$

Dengan rumus tersebut dapat pula ditentukan energi ikatan rata-rata suatu molekul dan energi yang diperlukan untuk memutuskan salah satu ikatan atau energi ikatan disosiasi dari suatu molekul.

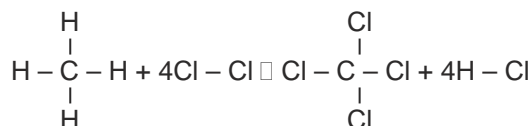
Berikut ini contoh perhitungan  $\Delta H$  dengan menggunakan harga energi ikatan.

### Contoh Soal

1. Dengan menggunakan harga energi ikatan, hitunglah  $\Delta H$  reaksi:



*Penyelesaian:*



Energi ikatan yang diputuskan:

$$4 \text{C} - \text{H} = 4 \cdot 415 = 1660 \text{ kJ}$$

$$4 \text{Cl} - \text{Cl} = 4 \cdot 243 = 972 \text{ kJ}$$

$$\underline{\hspace{1.5cm} +}$$

$$2632 \text{ kJ}$$

$$\Delta H \text{ reaksi} = 2632 \text{ kJ} - 3048 \text{ kJ}$$

$$= -416 \text{ kJ}$$

Energi ikatan yang dibentuk:

$$4 \text{C} - \text{Cl} = 4 \cdot 330 = 1320 \text{ kJ}$$

$$4 \text{H} - \text{Cl} = 4 \cdot 432 = 1728 \text{ kJ}$$

$$\underline{\hspace{1.5cm} +}$$

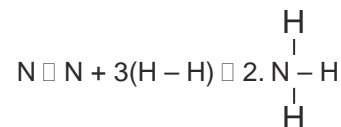
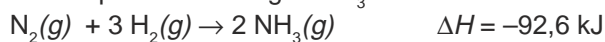
$$3048 \text{ kJ}$$

2. Hitunglah energi ikatan rata-rata N – H dalam molekul NH<sub>3</sub> jika diketahui:

$\Delta H_f$  gas NH<sub>3</sub> = -46,3 kJ, energi ikatan H – H = 436 kJ, N  $\equiv$  N = 946 kJ.

*Penyelesaian:*

Reaksi pembentukan gas NH<sub>3</sub>:



$$\Delta H \text{ reaksi} = \text{N} \equiv \text{N} + 3(\text{H} - \text{H}) - 2 \times 3(\text{N} - \text{H})$$

$$-92,6 \text{ kJ} = 946 \text{ kJ} + 3(436 \text{ kJ}) - 6(\text{N} - \text{H})$$

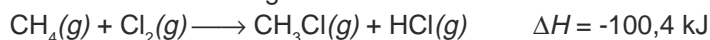
$$6(\text{N} - \text{H}) = 2254 \text{ kJ} + 92,6 \text{ kJ}$$

$$\text{N} - \text{H} = \frac{2346,6 \text{ kJ}}{6} = 391,1 \text{ kJ}$$

Energi ikatan rata-rata N – H = 391,1 kJ



3. Diketahui reaksi sebagai berikut:



Energi ikatan rata-rata dari:

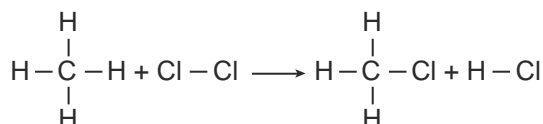
$$\text{C} - \text{Cl} = 330 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\text{Cl} - \text{Cl} = 243 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\text{H} - \text{Cl} = 432 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Tentukan energi ikatan disosiasi C – H.

*Penyelesaian:*



Energi ikatan yang diputuskan

$$1\text{C} - \text{H} = x \text{ kJ}$$

$$1\text{Cl} - \text{Cl} = 243 \text{ kJ}$$

$$\hline = (x + 243) \text{ kJ} +$$

Energi ikatan yang dibentuk

$$1\text{C} - \text{Cl} = 330 \text{ kJ}$$

$$1\text{H} - \text{Cl} = 432 \text{ kJ}$$

$$\hline = 762 \text{ kJ} +$$

$$\Delta H_R = \sum \text{energi ikatan yang diputuskan} - \sum \text{energi ikatan yang dibentuk}$$

$$-100,4 \text{ kJ} = (x + 243 \text{ kJ}) - 762 \text{ kJ}$$

$$x = -100,4 \text{ kJ} + 762 \text{ kJ} - 243 \text{ kJ}$$

$$= 418,6 \text{ kJ}$$

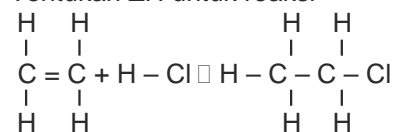
Jadi energi disosiasi C – H = 418,6 kJ

### Latihan 3.6

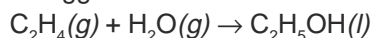
Untuk soal no. 1 s.d. 4 gunakan data energi ikatan pada Tabel 3.2!

1. Tentukan  $\Delta H$  reaksi gas  $\text{C}_2\text{H}_4$  dengan  $\text{H}_2$  menjadi gas  $\text{C}_2\text{H}_6$ !

2. Tentukan  $\Delta H$  untuk reaksi

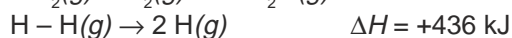


3. Tentukan  $\Delta H$  reaksi pembuatan alkohol dari gas etena dengan uap air menggunakan katalis asam untuk mempercepat reaksi.



4. Tentukan  $\Delta H$  reaksi:  $\text{HCN}(g) + 2 \text{H}_2(g) \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2(g)$

5. Diketahui:  $2 \text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H = -484 \text{ kJ}$



Tentukan energi ikatan rata-rata H – O!

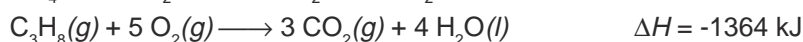
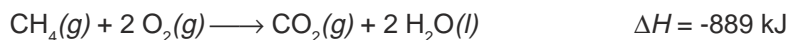
## D. Kalor Pembakaran

Bensin, minyak tanah, solar, dan LPG merupakan bahan bakar yang banyak digunakan, sebab dari proses pembakarannya menghasilkan energi yang cukup besar. Selain bahan bakar dari minyak bumi telah dipikirkan pula bahan bakar alternatif sebab minyak bumi termasuk sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Bahan bakar alternatif misalnya alkohol dan gas hidrogen. Alkohol sudah banyak digunakan sebagai bahan bakar kendaraan. Di Brazil kendaraan hampir 50% menggunakan bahan bakar campuran 95% alkohol dan 5% air.

Kalor pembakaran didefinisikan sebagai berikut.

*Kalor pembakaran* adalah kalor yang dibebaskan apabila 1 mol bahan bakar terbakar dengan sempurna dalam oksigen berlebihan.

### Contoh:



Selain energi panas, pembakaran ada juga yang menghasilkan energi bunyi dan energi cahaya, seperti kembang api dan petasan.

Kalor pembakaran beberapa bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Harga kalor pembakaran beberapa bahan bakar

Bahan Bakar	Rumus	$M_r$	Kalor Pembakaran ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )
Metana	$\text{CH}_4$	16	889
Propana	$\text{C}_3\text{H}_8$	44	2217
Butana	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	58	2874
Isobutana	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	58	2865
Metanol	$\text{CH}_3\text{OH}$	32	725
Etanol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46	1364
Bensin	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	114	5464
Minyak tanah	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	170	8072

Sumber: Ebbing, General Chemistry

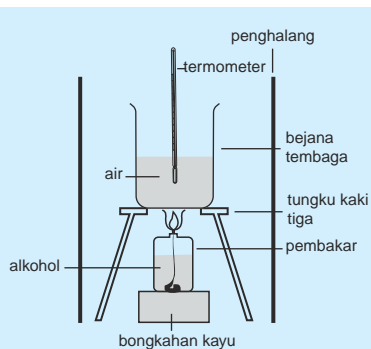
Cara sederhana untuk menghitung kalor pembakaran suatu bahan bakar dapat dilakukan dengan percobaan sebagai berikut.

### KEGIATAN 3.3 Eksperimen

#### Penentuan Kalor Pembakaran Etanol

Cara kerja

1. Masukkan 100 mL air ke dalam bejana dari tembaga, ukur suhu awal air.
2. Masukkan 100 mL etanol ke dalam pembakar, timbang etanol dengan alat pembakar.



- Susun alat seperti gambar di samping.
- Nyalakan pembakar sampai suhu air naik dari 30°C menjadi 60°C.

**Pengamatan:**

Suhu awal air = 30°C

Suhu akhir air = 60°C

Perubahan suhu air = 30°C

Massa air = 100 gram

Massa etanol dengan pembakar mula-mula =  $m_1$  gram

Massa etanol dengan pembakar akhir =  $m_2$  gram

Massa etanol yang digunakan =  $(m_1 - m_2)$  gram

**Cara Perhitungan:**

Kalor yang diserap =  $m.c.\Delta t$

$$= 100 \text{ g} \cdot 4,2 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 30^\circ\text{C}$$

$$= 12.600 \text{ J} = 12,6 \text{ kJ}$$

Menghitung kalor pembakaran etanol

$$\left( \frac{m_1 - m_2}{46} \right) \text{ mol etanol, membebaskan } 12,60 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ mol etanol} = \frac{(12,6 \text{ kJ} \times 46)}{(m_1 - m_2)} \text{ kJ mol}^{-1}$$

### Latihan 3.7

Selesaikan soal-soal berikut!

- Pembakaran 0,92 g etanol digunakan untuk meningkatkan suhu 400 mL air dari 30°C menjadi 40°C.
  - Perkirakan kalor pembakaran etanol.
  - Jika kalor pembakaran etanol yang sebenarnya adalah 1368 kJ mol<sup>-1</sup>, diskusikan mengapa hasil percobaan ini dapat berbeda dengan data.
- Bandingkan dan urutkan besarnya kalor pembakaran dari 1 gram bahan bakar bensin, minyak tanah, etanol, dan gas butana. Gunakan Tabel 3.3!

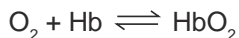
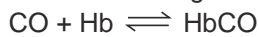
## E. Dampak Pembakaran Bahan Bakar yang Tidak Sempurna

Bahan bakar seperti bensin, solar, minyak tanah, dan LPG merupakan senyawa hidrokarbon. Hidrokarbon kalau dibakar secara sempurna akan menghasilkan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air. Gas  $\text{CO}_2$  tidak berbahaya bagi makhluk hidup tetapi jika jumlah  $\text{CO}_2$  di udara sangat berlebih akan timbul peristiwa *greenhouse effect* atau *efek rumah kaca* yakni peningkatan suhu di permukaan bumi.

Pada pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna akan menghasilkan gas karbon monoksida (CO). Gas CO berbahaya bagi manusia, sebab gas CO lebih mudah terikat oleh haemoglobin daripada gas  $\text{O}_2$ .

Haemoglobin berfungsi mengangkut  $\text{O}_2$  dari paru-paru ke seluruh tubuh, sehingga kalau haemoglobin banyak mengikat CO akan mengalami kekurangan oksigen yang dapat menyebabkan kematian.

Reaksi CO dengan Hb ditulis:



Daya ikat HbCO 200 kali lipat HbO<sub>2</sub>. Di jalan raya yang banyak kendaraan atau di daerah lampu merah kadar CO dapat mencapai lebih dari 100 ppm. Kadar CO di udara lebih dari 250 ppm dapat menyebabkan pingsan. Kadar 750 ppm menyebabkan kematian.

Untuk mengurangi dampak pencemaran CO di udara, pemerintah sudah menganjurkan pengurangan penggunaan mobil pribadi, merawat mesin kendaraan agar terjadi pembakaran sempurna, dan penggunaan bahan bakar alternatif yang lebih mudah terbakar.

### INFO KIMIA



#### Es Tinju

Mengapa disebut es tinju? Karena pada saat ditinju kemasan ini menjadi dingin. Bagaimana hal ini terjadi?

Pada kemasan es tinju terdapat kantong-kantong plastik yang berisi amonium nitrat dan air. Pada saat kantong ditinju, garam akan larut dan terjadi reaksi endoterm (suhu turun).

Sumber: Ebbing, General Chemistry

## Rangkuman

1. Sistem adalah segala sesuatu yang dipelajari perubahan energinya.
2. Lingkungan adalah segala yang berada di sekeliling sistem.
3. Perubahan entalpi adalah perubahan energi pada suatu reaksi yang berlangsung pada tekanan tetap.
4. Macam-macam perubahan entalpi yaitu  $\Delta H$  pembentukan,  $\Delta H$  penguraian,  $\Delta H$  pembakaran, dan  $\Delta H$  netralisasi.
5. Setiap perubahan kimia yang melibatkan kalor selalu disertai dengan pembebasan atau penyerapan energi.

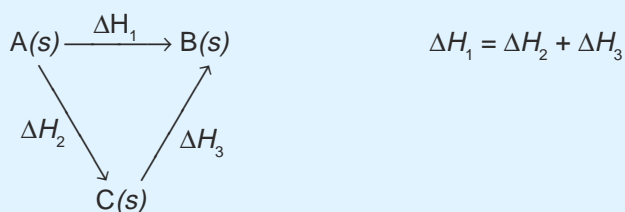
Reaksi eksoterm yaitu reaksi yang membebaskan kalor ( $\Delta H = -$ ).

Reaksi endoterm yaitu reaksi yang menyerap kalor ( $\Delta H = +$ ).

6. Jumlah kalor yang diserap atau dibebaskan dapat dihitung dengan rumus;

$$q = m \times c \times \Delta t$$

7.  $\Delta H$  reaksi dapat ditentukan:
  - a. melalui eksperimen
  - b. Berdasarkan  $\Delta H_f^\circ$   
 $\Delta H_R = \Delta H_f$  (hasil reaksi)  $-\Delta H_f$  pereaksi
  - c. Berdasarkan Hukum Hess.
  - d. Berdasarkan energi ikatan  
 $\Delta H_R = \sum$  energi ikatan yang diputuskan  $-\sum$  energi ikatan yang dibentuk
8. Perubahan entalpi reaksi hanya bergantung kepada keadaan awal dan keadaan akhir reaksi dan tidak bergantung pada tahap reaksi.



9. Energi ikatan adalah jumlah energi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan antaratom dalam 1 mol molekul berwujud gas.
10. Kalor pembakaran yaitu kalor yang dibebaskan apabila 1 mol bahan bakar terbakar dengan sempurna dalam oksigen yang berlebih.
11. Dampak pembakaran yang tidak sempurna akan mengakibatkan polusi udara yang akan membahayakan kesehatan.

## Kata Kunci

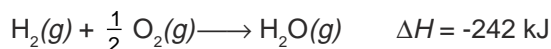
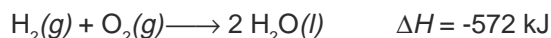
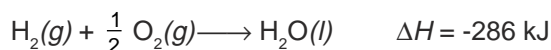
- Sistem
- Lingkungan
- Entalpi
- Perubahan entalpi
- Reaksi eksoterm
- Reaksi endoterm
- Perubahan entalpi pembentukan standar ( $\Delta H_f^\circ$ )
- Perubahan entalpi penguraian standar ( $\Delta H_d^\circ$ )
- Perubahan entalpi netralisasi ( $\Delta H_n^\circ$ )
- Kalor pembakaran
- Efek rumah kaca
- Energi ikatan
- Perubahan entalpi pembakaran ( $\Delta H_c^\circ$ )

## Evaluasi Akhir Bab

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar.

1. Sebuah televisi menyala dengan sumber listrik akumulator sehingga kita melihat siaran televisi. Perubahan bentuk energi yang terjadi pada peristiwa tersebut adalah . . . .
  - A. energi kimia - energi listrik - energi panas - energi bunyi
  - B. energi kimia - energi listrik - energi cahaya - energi bunyi
  - C. energi kimia - energi listrik - energi mekanik - energi panas
  - D. energi listrik - energi kimia - energi bunyi - energi cahaya
  - E. energi listrik - energi panas - energi cahaya - energi bunyi
2. Ke dalam tabung reaksi yang berisi air dilarutkan urea padat. Ternyata pada tabung reaksi terasa dingin, yang dimaksud dengan *sistem* pada peristiwa itu adalah . . . .
  - A. urea
  - B. air
  - C. urea dan air
  - D. air dan tabung reaksi
  - E. urea, air, dan tabung reaksi
3. Jika kapur tohor dilarutkan dalam air, akan menghasilkan panas. Pernyataan yang tepat untuk hal ini adalah . . . .
  - A. reaksi tersebut endoterm
  - B. entalpi sistem bertambah
  - C. entalpi sistem berkurang
  - D.  $\Delta H$  reaksi positif
  - E. reaksi memerlukan kalor

4. Reaksi berikut terjadi pada suhu dan tekanan tertentu:



berdasarkan reaksi-reaksi tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan entalpi tergantung pada . . . .

- A. suhu dan volum  
B. tekanan dan suhu  
C. jumlah dan wujud zat  
D. jumlah zat dan kalor yang dibebaskan  
E. kalor yang dibebaskan
5. Reaksi yang mempunyai harga  $\Delta H_R = \Delta H_f^\circ \text{CO}$  adalah . . . .
- A.  $\text{C}(s) + \frac{1}{2} \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}(g)$   
B.  $\text{C}(s) + \text{O}(g) \longrightarrow \text{CO}(g)$   
C.  $\text{C}(s) + \text{CO}_2(g) \longrightarrow 2 \text{CO}(g)$   
D.  $\text{C}(g) + \frac{1}{2} \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}(g)$   
E.  $\text{C}(g) + \text{CO}_2(g) \longrightarrow 2 \text{CO}(g)$
6. Diketahui reaksi:  $\text{CaO}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(s) \quad \Delta H = -350 \text{ kJ}$ .  
Jumlah kalor yang dilepaskan pada reaksi di atas dinyatakan dalam kJ/gram CaO adalah . . . ( $A_r \text{Ca} = 40 \text{ O} = 16$ ).
- A. 700  
B. 350  
C. 17,5  
D. 12,5  
E. 6,25
7. Sejumlah magnesium dibakar menghasilkan 1 gram MgO ( $A_r \text{Mg} = 24, \text{O} = 16$ ) dan dilepaskan kalor 14,4 kJ. Perubahan entalpi pembentukan MgO adalah . . . .
- A. 14,4 kJ  
B. -14,4 kJ  
C. 288 kJ  
D. -288 kJ  
E. -576 kJ
8. Diketahui  $\Delta H$  pembakaran dari berbagai bahan bakar
- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )           | = -1821,50 kJ mol <sup>-1</sup> |
| Propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ )         | = -2217,30 kJ mol <sup>-1</sup> |
| Hidrogen ( $\text{H}_2$ )                  | = -242,00 kJ mol <sup>-1</sup>  |
| Karbon disulfida ( $\text{CS}_2$ )         | = -1075,40 kJ mol <sup>-1</sup> |
| Etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) | = -1364,00 kJ mol <sup>-1</sup> |
- Untuk setiap 2 gram bahan bakar di atas, yang menghasilkan kalor paling besar adalah . . . .

- A. etana
- B. propana
- C. hidrogen
- D. karbon disulfida
- E. etanol

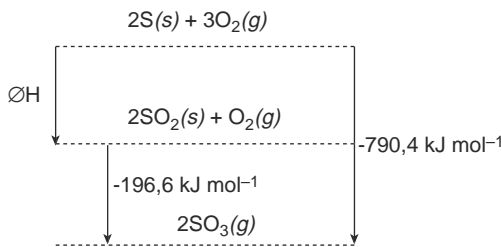
9. Jika energi ikatan rata-rata sebagai berikut.

- $C = C = 146 \text{ kkal}$
- $C - C = 83 \text{ kkal}$
- $C - H = 99 \text{ kkal}$
- $C - Cl = 79 \text{ kkal}$
- $H - Cl = 103 \text{ kkal}$

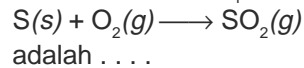
Maka perubahan entalpi pada adisi 117,6 gram etena dengan asam klorida menurut persamaan reaksi:  $H_2C = CH_2 + HCl \rightarrow H_3C - CH_2 - Cl$  sebesar . . . .

- A.  $-2142 \text{ kJ mol}^{-1}$
- B.  $-305,76 \text{ kJ mol}^{-1}$
- C.  $-50,4 \text{ kJ mol}^{-1}$
- D.  $+50,4 \text{ kJ mol}^{-1}$
- E.  $+21,42 \text{ kJ mol}^{-1}$

10. Diagram entalpi tahap-tahap reaksi pembakaran belerang adalah sebagai berikut.



Dari diagram perubahan entalpi di samping, maka  $\Delta H_f$  untuk reaksi:



- A.  $296,9 \text{ kJ mol}^{-1}$
- B.  $-296,9 \text{ kJ mol}^{-1}$
- C.  $593,8 \text{ kJ mol}^{-1}$
- D.  $-593,8 \text{ kJ mol}^{-1}$
- E.  $987,0 \text{ kJ mol}^{-1}$

11. Untuk menaikkan suhu 100 gram air sebanyak  $X^\circ C$  diperlukan energi 21 kJ, maka X sama dengan . . . (kalor jenis air =  $4,2 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ C^{-1}$ ).

- A.  $50^\circ C$
- B.  $25^\circ C$
- C.  $15^\circ C$
- D.  $10^\circ C$
- E.  $5^\circ C$

12. Pembakaran sempurna gas metana ditunjukkan oleh persamaan reaksi berikut:  $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$   $\Delta H = -840 \text{ kJ}$

Jika seluruh kalor yang dihasilkan digunakan untuk mendidihkan air yang mula-mula bersuhu  $25^\circ C$  maka volum air yang bisa dididihkan menggunakan 24 gram metana adalah . . . ( $A_r C = 12$   $H = 1$ ;  $c = 4,2 \text{ J/g}^\circ C$ ).

- A. 2,7 L
- B. 4,0 L
- C. 5,0 L
- D. 8,0 L
- E. 12,0 L



13. Diketahui reaksi:  
 $\text{NaOH}(aq) + \text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H = -56 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 Bila 100 mL larutan HCl 0,25 M direaksikan dengan 200 mL larutan NaOH 0,15 M, maka perubahan entalpi yang terjadi dalam reaksi ini adalah . . . .
- 0,56 kJ
  - 3,08 kJ
  - 1,68 kJ
  - 1,40 kJ
  - 2,80 kJ
14. Diketahui energi ikatan sebagai berikut:  
 $\text{C} - \text{H} = 414 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 $\text{C} = \text{O} = 803 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 $\text{O} - \text{H} = 464 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 $\text{O} = \text{O} = 498 \text{ kJ mol}^{-1}$
- Jika  $\Delta H$  pembakaran  $\text{C}_2\text{H}_2 = -1,26 \times 10^3 \text{ kJ mol}^{-1}$ , maka energi ikatan  $\text{C} \equiv \text{C}$  adalah . . . .
- 841 kJ
  - 807 kJ
  - 309 kJ
  - 260 kJ
  - 540 kJ
15. Hasil pembakaran bahan bakar bensin yang tidak sempurna dapat mengakibatkan pencemaran udara oleh gas . . . .
- CO
  - CO<sub>2</sub>
  - SO<sub>3</sub>
  - NO
  - SO<sub>3</sub>

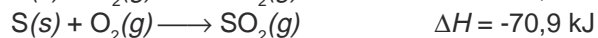
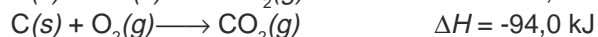
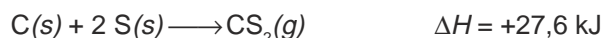
## B. Selesaikan soal-soal berikut dengan jelas dan singkat.

- Tuliskan persamaan termokimia untuk pernyataan berikut:
  - Perubahan entalpi pembentukan  $\text{H}_2\text{SO}_4(l)$  adalah -194 kJ.
  - Pembakaran 1 mol etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) secara sempurna dibebaskan kalor sebanyak 1364 kJ.
- 100 mL asam klorida 1 mol L<sup>-</sup> pada suhu 25°C bereaksi dengan 100 mL natrium hidroksida 1 mol L<sup>-</sup> pada suhu 25°C. Suhu tertinggi campuran adalah 34°C. (kalor jenis air = 4,2 J/°C).
  - Berapa  $\Delta H$  reaksi tersebut?
  - Berapa  $\Delta H_f^\circ$  1 mol air menurut percobaan reaksi ini?
- Hitung  $\Delta H$  pembakaran 116 gram gas butana jika diketahui:
 
$$\Delta H_f^\circ \text{C}_4\text{H}_{10}(g) = -126,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

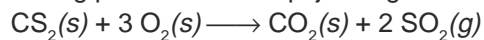
$$\Delta H_f^\circ \text{CO}_2(g) = -393,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O}(l) = -285,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

4. Diketahui reaksi:



Hitung perubahan entalpi jika 1 gram  $\text{CS}_2$  dibakar menurut reaksi:



5. Jelaskan bahaya yang diakibatkan oleh gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CO}$  di udara!

## Tugas

Perkirakan kalori yang dihasilkan dari makanan yang kamu makan pada waktu sarapan dan makan siang. Gunakan tabel panas pembakaran beberapa jenis bahan makanan berikut.

Bahan Makanan	Kalori ( $\text{kJ g}^{-1}$ )
Daging sapi	8
Daging ayam	9
Telur	6
Ikan	3
Nasi	16
Roti	12
Mentega	34
Susu	3
Keju	18
Kentang	3
Jeruk	2
Apel	2
Kol	1

Carilah informasi kebutuhan kalori yang sesuai dengan berat badanmu. Apakah kalori dari makanan yang kamu makan sudah mencukupi? Buat laporannya!