

## Bab 9 Energi dan Kimia

***Jacqueline Bennett • SUNY Oneonta***

**[www.cengage.com/chemistry/brown](http://www.cengage.com/chemistry/brown)**

# Tujuan Bab

- Menjelaskan berbagai bentuk konversi energi termasuk efisiensi
- Mendefinisikan **kerja** dan **kalor** menggunakan konvensi standar
- Mendefinisikan **fungsi keadaan** dan menjelaskan maknanya
- Menjelaskan **hukum termodinamika pertama**
- Menggunakan **data kalorimetri** untuk mendapatkan nilai  $\Delta E$  dan  $\Delta H$  reaksi kimia
- Mendefinisikan  $\Delta H_f^\circ$  dan menulis **reaksi pembentukan** senyawa
- Menjelaskan **hukum Hess**
- Menghitung  $\Delta H^\circ$  reaksi kimia dari data

# Bentuk Energi

2 kategori utama:

1) Energi Potensial → terkait dengan posisi relatif benda

1) Energi Kinetik → terkait dengan gerak

$$\text{Kinetic energy} = \frac{1}{2}mv^2$$

# Bentuk Energi

- **Energi dalam:** kombinasi E. Potensial + E. Kinetik dalam benda atau sistem
- **Energi kimia:** energi yang dilepaskan atau diserap pada suatu reaksi kimia
- **Bentuk-bentuk energi lain:** radiasi, energi termal, energi inti dan lain-lain

## **Bentuk Energi lain**

- **Energi radiasi** berasal dari matahari dan merupakan sumber energi yang paling utama untuk bumi
- **Energi termal** adalah energi yang terkait dengan gerak atom dan molekul yang acak
- **Energi inti** adalah energi yang disimpan di dalam inti atom ( proton dan netron)

# Kalor dan kerja

- **Kalor** adalah aliran energi antara 2 benda karena adanya perbedaan temperatur
  - Kalor mengalir dari benda dengan temperatur tinggi ke benda dengan temperatur rendah
- **Kerja** adalah transfer energi yang dihasilkan oleh gaya yang menggerakkan massa benda sejauh jarak tertentu
  - **Kerja tekanan-volum (kerja PV)** adalah kerja yang umum dalam ilmu kimia

# Satuan Energi

- Satuan energi dalam SI: **Joule, J**

- 1 Joule = 1 kg m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>

$$W = \text{mass} \cdot \text{acceleration} \cdot \text{distance} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}$$

- Satuan lain: **Btu & kalori**

- 1 Btu = energi yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 lb air sejumlah 1° F

- Btu = satuan termal Inggris, 1 Btu = 1054,35 J

- 1 kalori = energi yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 g air dari 14,5 ke 15,5° C

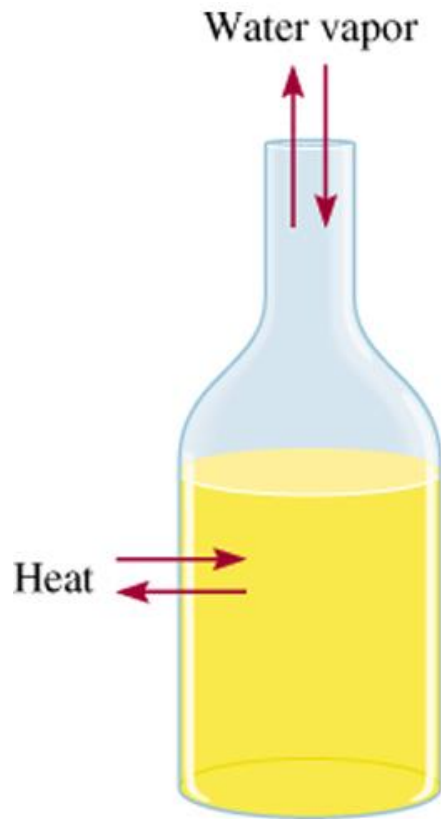
- 1 kalori = 4,184 J

**Termokimia:** studi yang terkait dengan **aspek energetika** dalam reaksi kimia.

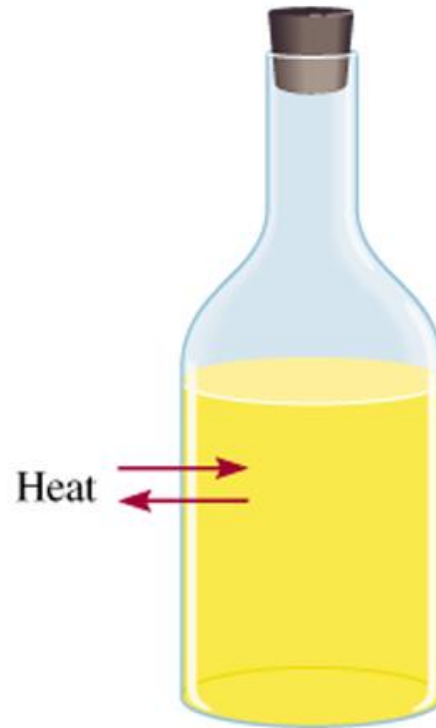
**Sistem** adalah bagian tertentu dari alam semesta yang menjadi fokus studi.

**Lingkungan:** bagian alam semesta yang di luar sistem

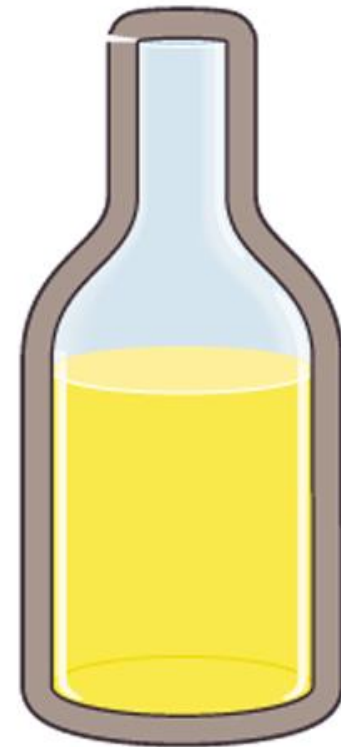
Sistem & lingkungan dipisahkan oleh **BATAS**  
**(boundary)**



terbuka



tertutup



terisolasi

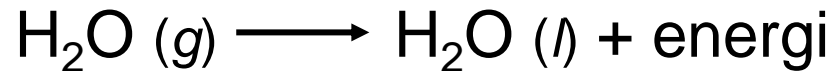
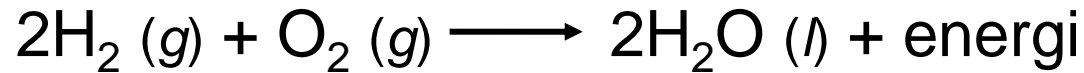
## Pertukaran:

massa & energi

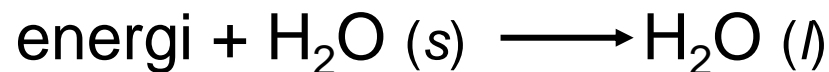
energi

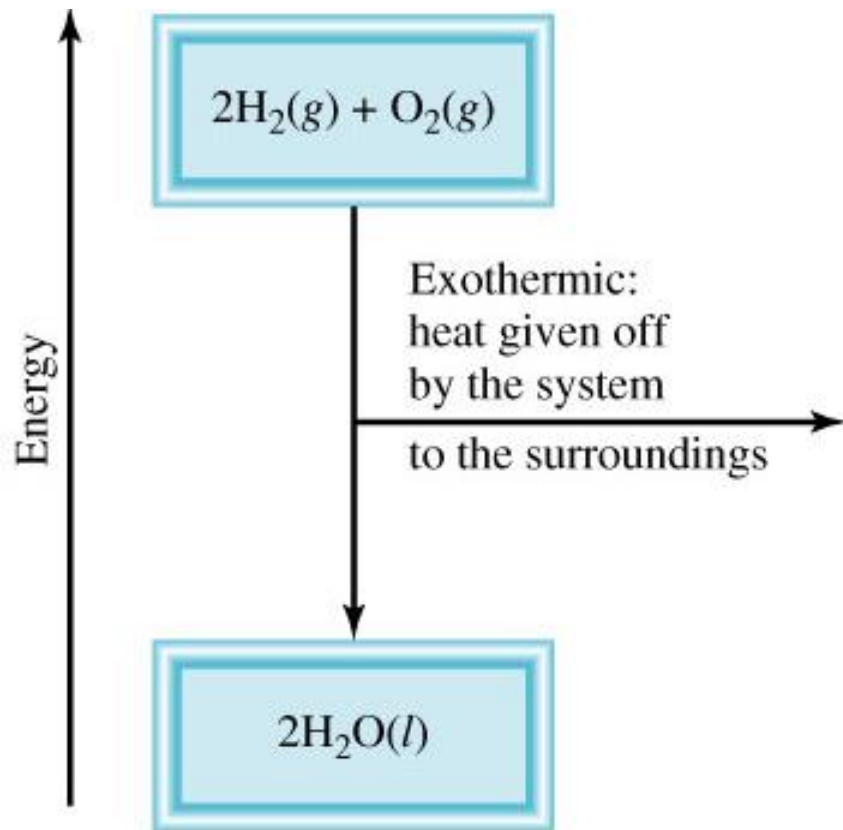
tidak ada

**Proses eksotermik** adalah proses yang menghasilkan kalor → sistem memberikan kalor ke lingkungan

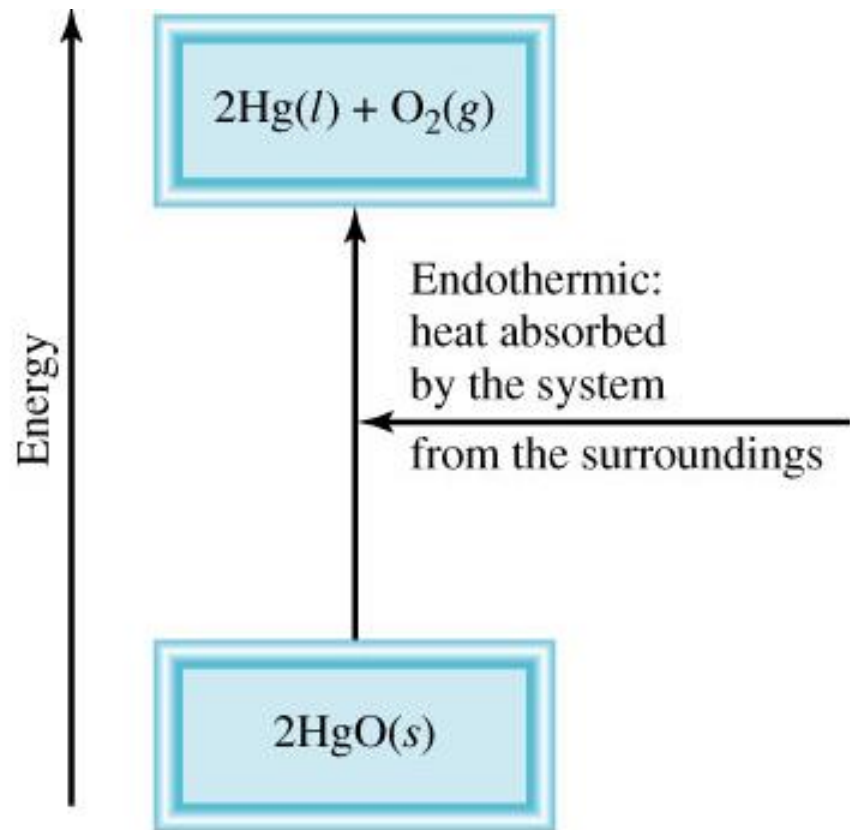


**Proses endotermik** adalah proses dimana lingkungan memberi kalor ke sistem





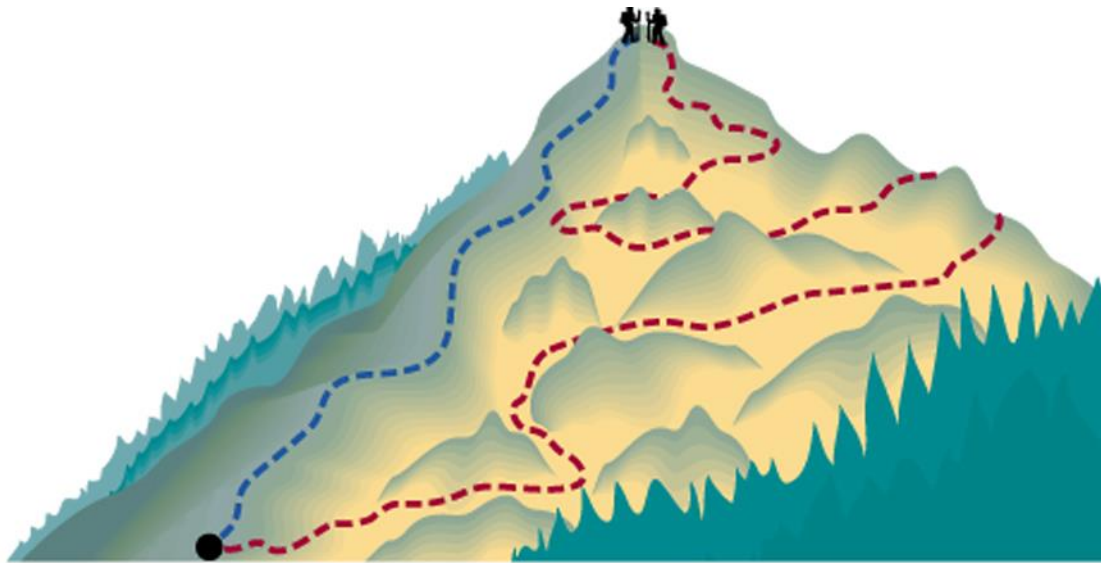
Eksotermik



Endotermik

**Termodinamika** adalah studi saintifik yang mempelajari konversi kalor dengan energi lainnya.

**Fungsi keadaan** adalah sifat yang ditentukan oleh keadaan sistem dan tidak tergantung pada proses bagaimana keadaan itu tercapai.



$$\Delta E = E_{final} - E_{initial}$$

$$\Delta P = P_{final} - P_{initial}$$

$$\Delta V = V_{final} - V_{initial}$$

$$\Delta T = T_{final} - T_{initial}$$

Energi potensial pendaki 1 dan 2 sama walaupun jalan yang ditempuh berbeda.

# Hukum pertama termodinamika: **KONSERVASI ENERGI**

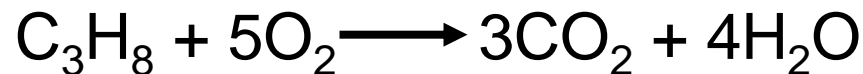
energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lain tetapi energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan

$$DE_{\text{universe}} = DE_{\text{surroundings}} + DE_{\text{system}} = 0$$

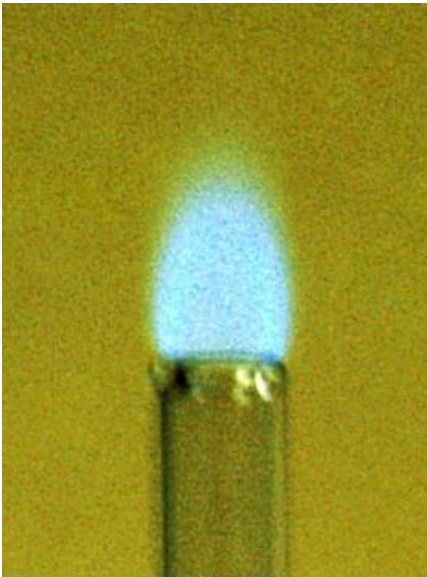
$$\Delta E_{\text{sistem}} + \Delta E_{\text{lingkungan}} = 0$$

atau

$$\Delta E_{\text{sistem}} = -\Delta E_{\text{lingkungan}}$$



Reaksi eksotermik



Energi kimia yang hilang dalam sistem = Energi yang diterima oleh lingkungan

- **Kalor** adalah aliran energi antara dua benda yang berbeda suhu
  - Kalor mengalir dari objek yang lebih panas ke objek yang lebih dingin
- **Kerja** adalah transfer energi yang dicapai oleh suatu gaya yang menggerakkan massa melawan hambatan
  - Kerja tekanan-volume atau kerja-PV adalah jenis pekerjaan yang paling umum dalam kimia
  - Melepaskan balon adalah contoh kerja PV

## Bentuk lain dari hukum pertama untuk $\Delta E_{\text{sistem}}$

$$\Delta E = q + w$$

$$\Delta E = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}}$$

$\Delta E$  adalah perubahan energi dalam sistem

$q$  adalah kalor yang dipertukarkan antara sistem dan lingkungan

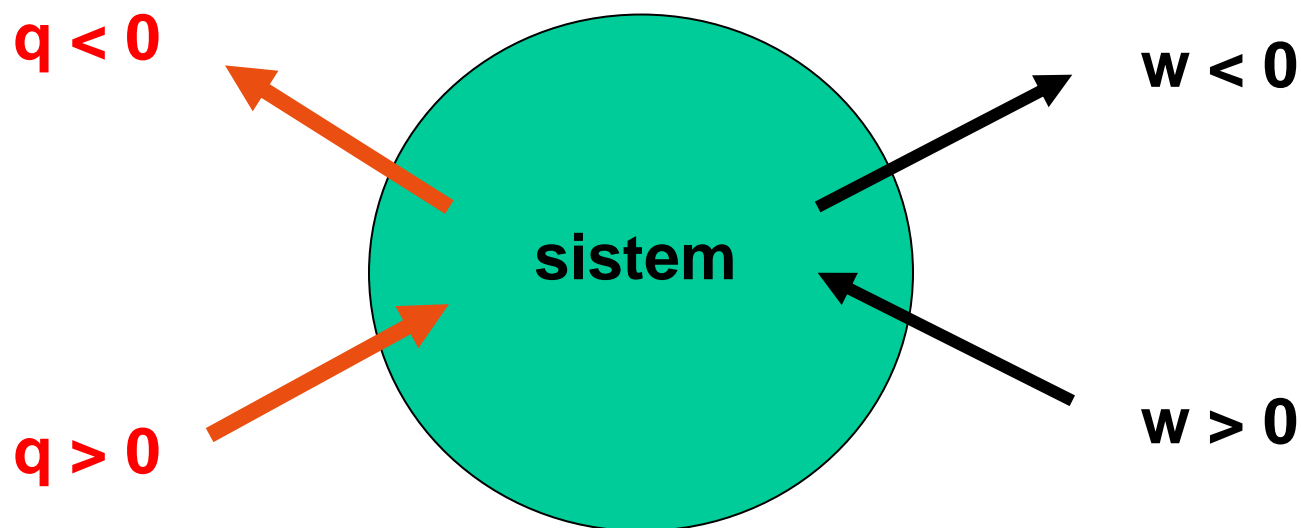
$w$  adalah kerja yang dilakukan oleh atau terhadap sistem

$$w = -P_l \Delta V$$

bila gas berekspansi melawan  
**tekanan luar yang tetap**

**TABLE 6.1** Sign Conventions for Work and Heat

Process	Sign
Work done by the system on the surroundings	—
Work done on the system by the surroundings	+
Heat absorbed by the system from the surroundings (endothermic process)	+
Heat absorbed by the surroundings from the system (exothermic process)	—



# Kerja dilakukan terhadap sistem

$$w = F \times d$$

$$w = -P \Delta V$$

$$P \times V = \frac{F}{d^2} \times d^3 = F \times d = w$$

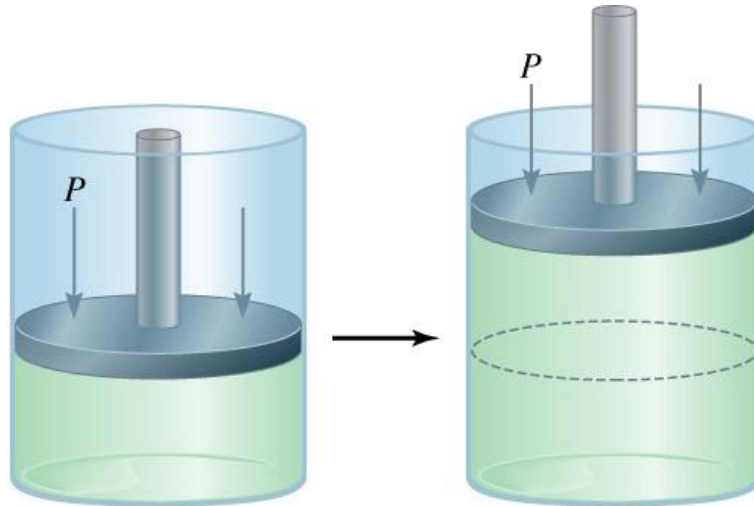
$$\Delta V > 0$$

$$-P\Delta V < 0$$

$$w_{sis} < 0$$

Kerja  
**bukan**  
fungsi  
keadaan

$$\Delta W \neq W_{final} - W_{initial}$$



awal

akhir

Gas nitrogen berekspansi dari 1,6 L ke 5,4 L pada temperatur tetap. Hitung kerja yang dilakukan dalam joule bila gas berekspansi (a) dalam vakum dan (b) terhadap tekanan luar yang tetap sebesar 3,7 atm?

$$w = -P \Delta V$$

(a)  $\Delta V = 5.4 \text{ L} - 1.6 \text{ L} = 3.8 \text{ L}$      $P = 0 \text{ atm}$   
 $W = -0 \text{ atm} \times 3.8 \text{ L} = 0 \text{ L} \cdot \text{atm} = 0 \text{ joules}$

**→ Ekspansi bebas**

(b)  $\Delta V = 5.4 \text{ L} - 1.6 \text{ L} = 3.8 \text{ L}$      $P = 3.7 \text{ atm}$

$$w = -3.7 \text{ atm} \times 3.8 \text{ L} = -14.1 \text{ L} \cdot \text{atm}$$

$$w = -14.1 \text{ L} \cdot \text{atm} \times \frac{101.3 \text{ J}}{1 \text{ L} \cdot \text{atm}} = -1430 \text{ J}$$

# JENIS PROSES (1):

- **isothermal**
  - proses berlangsung pada temperatur yang sama  $\rightarrow \Delta T = 0$
- **isobarik**
  - proses berlangsung pada tekanan yang sama  $\rightarrow \Delta P = 0$
- **isokorik**
  - proses berlangsung pada volum yang sama  $\rightarrow \Delta V = 0$

# JENIS PROSES (2):

- **adiabatik**
  - proses berlangsung dalam sistem tersekat  
 $\rightarrow q = 0$
- **reversibel**
  - Proses yang tiap saat berlangsung bolak balik (tiap saat berada dalam kesetimbangan)  
 $\rightarrow P_l = P_s = P$  (Tekanan luar = tekanan sistem)

# Energi dalam (= kalor pada volume tetap)

- Kondisi aliran kalor,  $q$ ,
  - Pembakaran oktan melepas  $5,45 \times 10^3$  kJ pada kondisi **volume tetap**, dinyatakan sebagai  $q_v$
  - Pembakaran oktan melepas  $5,48 \times 10^3$  kJ pada kondisi **tekanan tetap**, dinyatakan sebagai  $q_p$
- Perubahan energi dalam reaksi sama dengan jumlah kalor dan kerja

$$\Delta E = q + w$$

$$\Delta E = q - P\Delta V$$

- Kerja ekspansi,  $w = -P\Delta V$
- Pada kondisi volume tetap,  $\Delta V = 0$

$$\Delta E = q_v$$

# ***Waste Energy***

- Untuk mendapatkan kerja dari suatu sistem → pemanasan sistem
- Kalor masuk ke dalam sistem & diubah menjadi kerja
  - **Kalor tidak bisa diubah sepenuhnya menjadi kerja**
  - Energi yang terbuang = **waste energy**, menjadi polusi termal
    - **Polusi termal** = perubahan temperatur air dari sumber air sehingga temperatur berbeda dari trayek yang normal
- **% konversi** menunjukkan seberapa besar efisiensi konversi dari kalor menjadi kerja
  - Konsumsi energi dapat diimbangi oleh efisiensi energi

Device	Energy Conversion	Typical Efficiency (%)
Electric heater	Electrical $\rightarrow$ thermal	$\sim 100$
Hair dryer	Electrical $\rightarrow$ thermal	$\sim 100$
Electric generator	Mechanical $\rightarrow$ electrical	95
Battery	Chemical $\rightarrow$ electrical	90
Steam boiler (power plant)	Chemical $\rightarrow$ thermal	85
Home gas furnace	Chemical $\rightarrow$ thermal	85
Home oil furnace	Chemical $\rightarrow$ thermal	65
Electric motor (small)	Electrical $\rightarrow$ mechanical	65
Steam turbine	Thermal $\rightarrow$ mechanical	45
Gas turbine	Chemical $\rightarrow$ mechanical	30
Automobile engine	Chemical $\rightarrow$ mechanical	25
Fluorescent lamp	Electrical $\rightarrow$ light	20
Silicon solar cell	Solar $\rightarrow$ electrical	15
Incandescent lamp	Electrical $\rightarrow$ light	5

# Kalorimetri

- Kalorimetri = metoda eksperimen di laboratorium yang digunakan untuk mengamati dan mengukur besarnya kalor yang keluar/masuk ke dalam sistem
- 3 faktor utama:
  - Massa material,  $m$  atau  $n$
  - Jenis material, yang dicirikan oleh:  $c$  atau  $C_p$
  - Perubahan temperatur,  $\Delta T$

**Kalor jenis(s)** suatu zat adalah jumlah kalor ( $q$ ) yang diperlukan untuk menaikkan temperatur **1 gram** zat sebesar **1 derajat Celsius**.

**Kapasitas kalor (C)** suatu zat adalah kalor ( $q$ ) yang diperlukan untuk menaikkan temperatur **sejumlah massa ( $m$ )** zat sebesar **satu derajat Celsius**.

TABLE 6.2

The Specific Heats  
of Some Common  
Substances

Substance	Specific Heat (J/g · °C)
Al	0.900
Au	0.129
C (graphite)	0.720
C (diamond)	0.502
Cu	0.385
Fe	0.444
Hg	0.139
H <sub>2</sub> O	4.184
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (ethanol)	2.46

$$C = m \times s$$

kalor ( $q$ ) yang diserap atau dihasilkan:

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

$$q = C \times \Delta t$$

$$\Delta t = t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}}$$

Substance	Specific Heat, $c$ (J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Molar Heat Capacity, $C_p$ (J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
Al(s)	0.900	24.3
Cu(s)	0.385	24.5
H <sub>2</sub> O(s)	2.09	37.7
H <sub>2</sub> O( $\ell$ )	4.18	75.3
H <sub>2</sub> O(g)	2.03	36.4

# Entalpi dan hukum pertama termodinamika

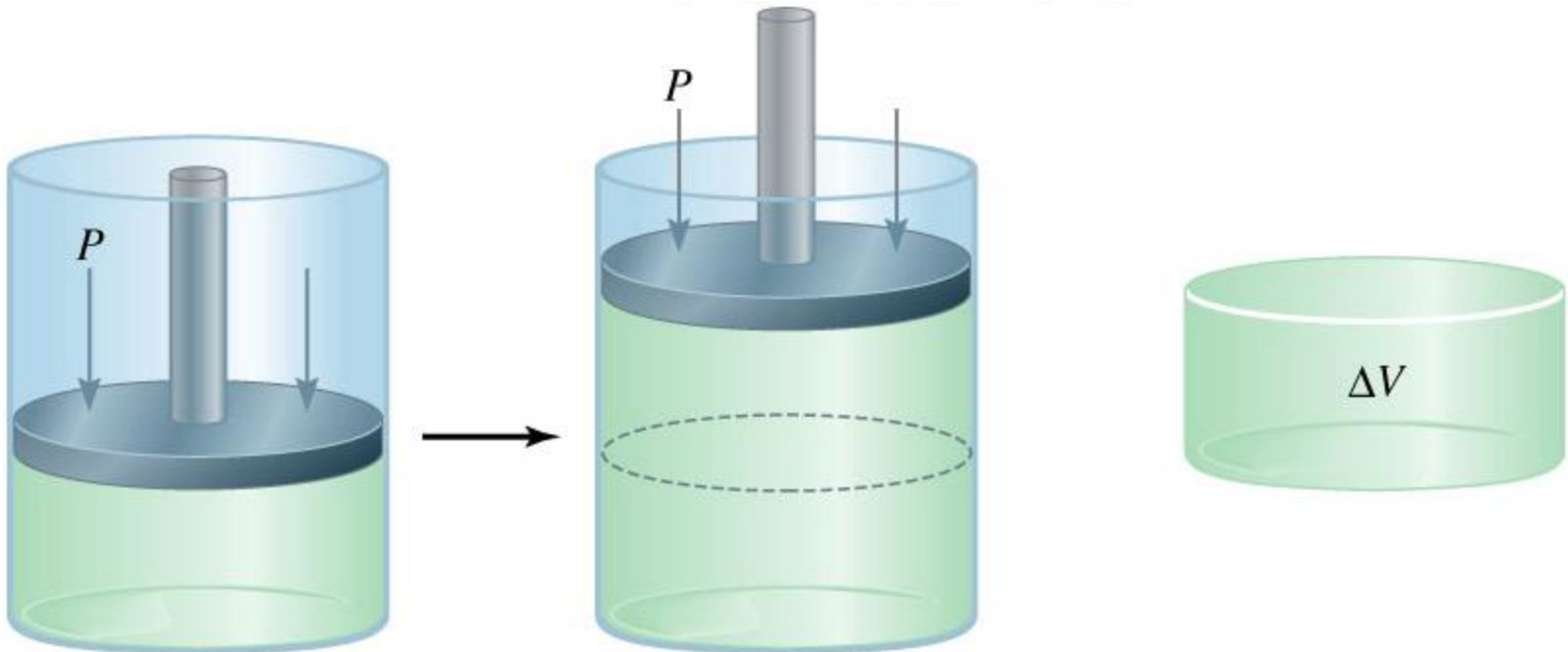
$$\Delta E = q + w$$

Pada tekanan tetap:

$$q = \Delta H \text{ and } w = -P\Delta V$$

$$\Delta E = \Delta H - P\Delta V$$

$$\Delta H = \Delta E + P\Delta V$$



# Entalpi (= kalor pada tekanan tetap)

- Entalpi:  $H = E + PV$
- Perubahan entalpi pada tekanan tetap:

$$H = E + PV$$

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

$$\Delta H = (q - P\Delta V) + \Delta(PV)$$

$$\Delta H = q - P\Delta V + P\Delta V$$

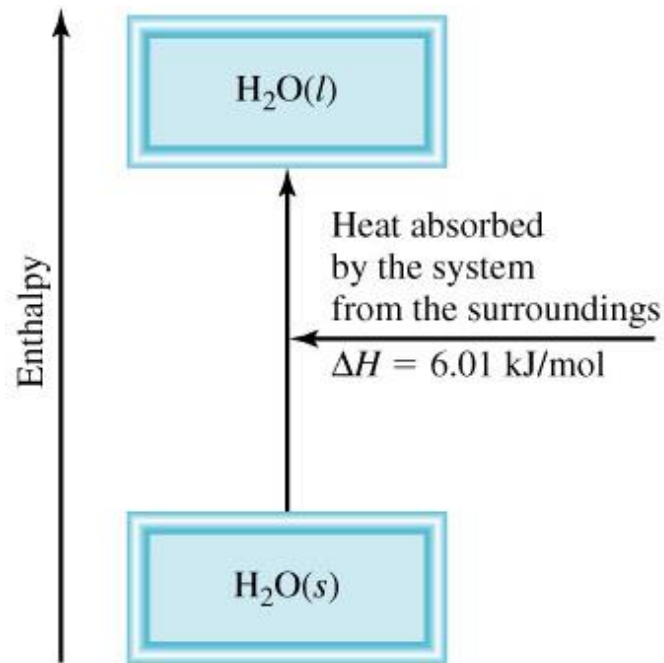
$$\Delta H = q_p$$

- Eksoterm: sistem melepas kalor ( $\Delta H$  negatif)
- Endoterm: sistem menyerap kalor ( $\Delta H$  positif)

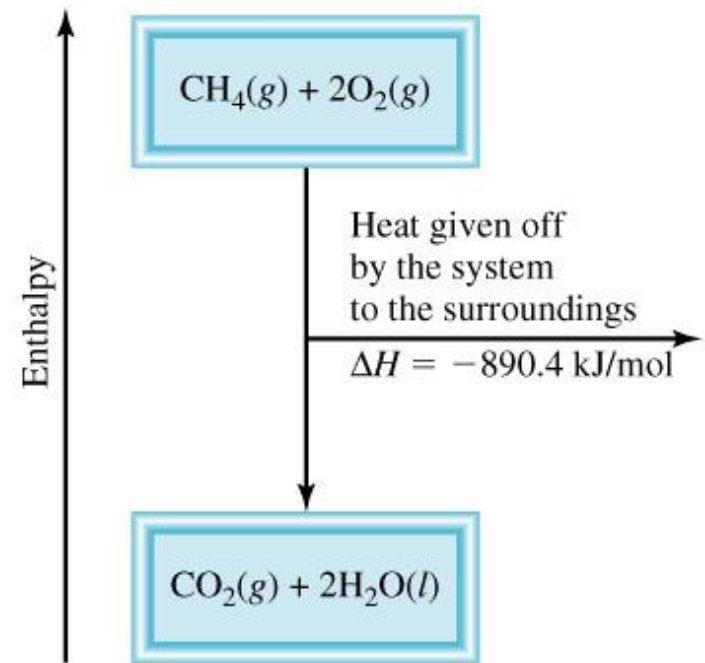
**Entalpi ( $H$ )** digunakan untuk mengukur secara kuantitatif aliran kalor dari atau keluar sistem dalam proses yang berlangsung pada tekanan tetap.

$$\Delta H = H(\text{produk}) - H(\text{reaktan})$$

$\Delta H$  = kalor yang dihasilkan atau diperlukan dalam suatu reaksi pada **tekanan tetap**

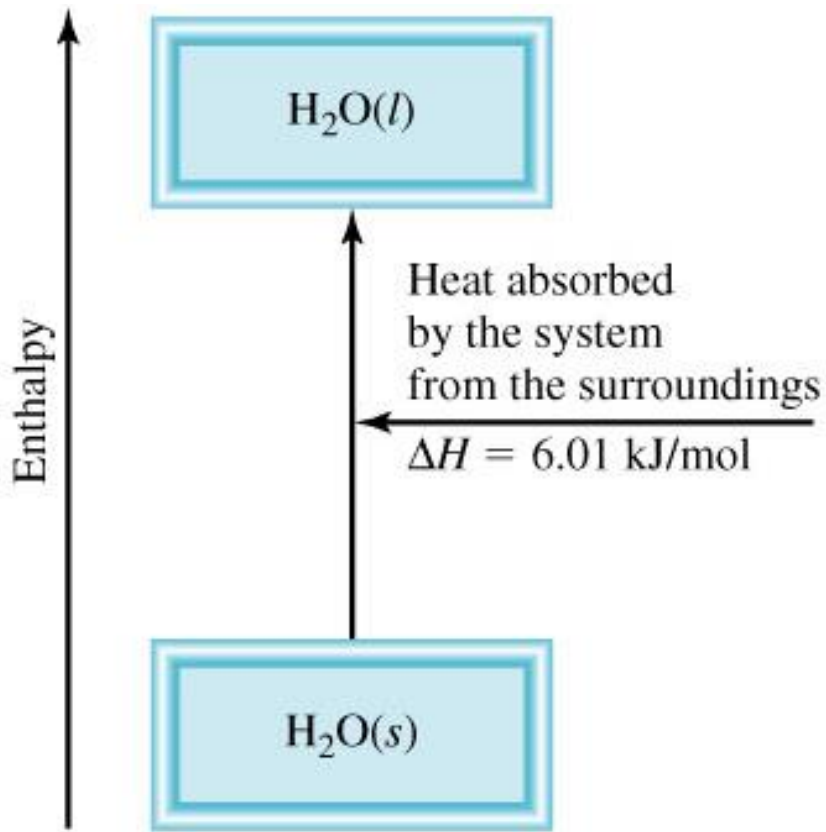


$$H_{\text{produk}} > H_{\text{reaktan}}$$
$$\Delta H > 0$$



$$H_{\text{produk}} < H_{\text{reaktan}}$$
$$\Delta H < 0$$

# Persamaan termokimia



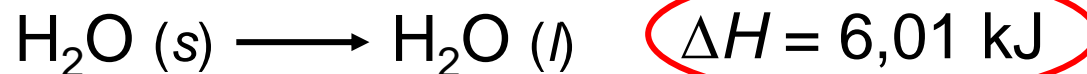
Apakah  $\Delta H$  – atau + ?

Sistem menyerap kalor

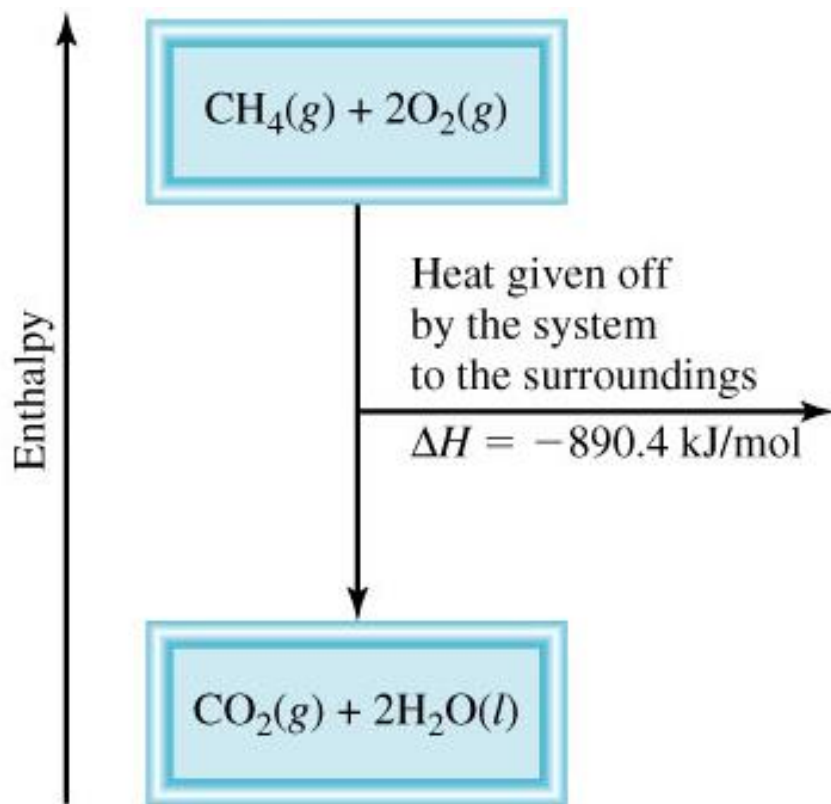
Endotermik

$$\Delta H > 0$$

Kalor sejumlah 6,01 kJ diserap oleh 1 mol es yang meleleh pada  $0^\circ\text{C}$  dan 1 atm.



# Persamaan termokimia



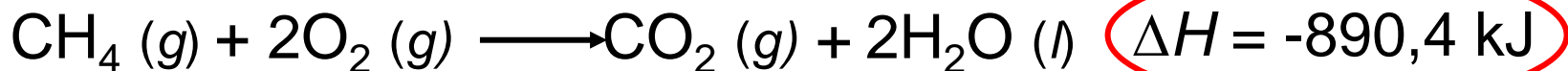
Apakah  $\Delta H$  – atau + ?

Sistem menghasilkan kalor

Eksotermik

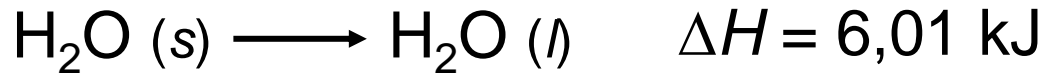
$$\Delta H < 0$$

Kalor sejumlah 890,4 kJ dibebaskan pada pembakaran 1 mol metana pada 25°C dan 1 atm.



# Persamaan termokimia

- Koefisien reaksi selalu mengacu pada jumlah mol zat



- Bila reaksi dibalik arah, tanda  $\Delta H$  berubah

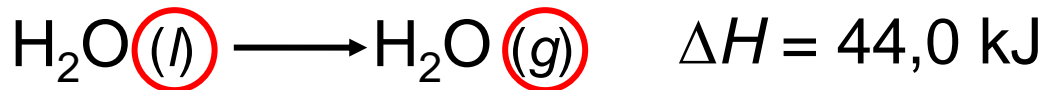


- Bila persamaan reaksi dikali  $n$ , maka  $\Delta H$  juga harus dikali  $n$ .



# Persamaan termokimia

- Keadaan fisik reaktan dan produk harus dijelaskan dalam persamaan reaksi.

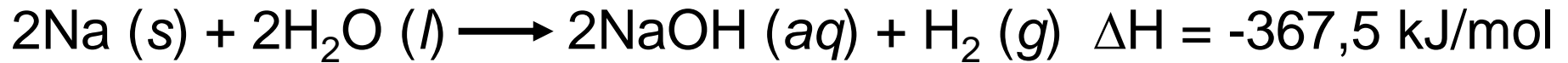


Berapa kalor yang dihasilkan pada pembakaran 266 g fosfor putih ( $\text{P}_4$ ) di udara?



$$266 \text{ g } \cancel{\text{P}_4} \times \frac{1 \cancel{\text{ mol P}_4}}{123,9 \cancel{\text{ g P}_4}} \times \frac{3013 \text{ kJ}}{1 \cancel{\text{ mol P}_4}} = 6470 \text{ kJ}$$

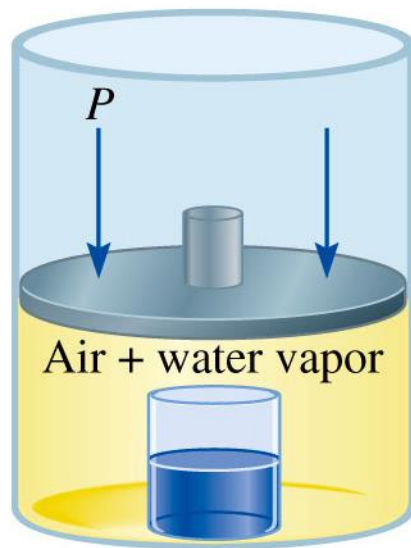
## Perbandingan $\Delta H$ dan $\Delta E$



$$\Delta E = \Delta H - P\Delta V \quad \text{Pada } 25^\circ\text{C}, 1 \text{ mol H}_2 = 24,5 \text{ L pada } 1 \text{ atm}$$

$$P\Delta V = 1 \text{ atm} \times 24,5 \text{ L} = 2482,5 \text{ J} = 2,48 \text{ kJ}$$

$$\Delta E = -367,5 \text{ kJ/mol} - 2,48 \text{ kJ/mol} = -370,0 \text{ kJ/mol}$$



# Kalorimetri

- Kalorimetri adalah satu metode untuk mengamati dan mengukur aliran masuk dan ke luar sistem
- Jumlah energi yang diserap bergantung pada
  - Jumlah material,  $m$  atau  $n$ 
    - $m$  adalah massa, dan  $n$  adalah mol
  - Jenis material, diukur oleh  $c$  atau  $C_p$ 
    - $c$  adalah kapasitas kalor spesifik, atau kalor spesifik,
    - $C_p$  adalah kapasitas kalor molar
  - Perubahan suhu,  $\Delta T$

# Kapasitas kalor

- **Kapasitas kalor spesifik**, atau **kalor spesifik ( $c$ )**: jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu gram zat sebesar  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- **Kapasitas kalor molar ( $C_p$ )**: jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu mol zat sebesar  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$q = mc\Delta T$$

$$q = nC_p\Delta T$$

# Data kapasitas kalor zat

Substance	Specific Heat, $c$ (J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Molar Heat Capacity, $C_p$ (J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
Al(s)	0.900	24.3
Cu(s)	0.385	24.5
H <sub>2</sub> O(s)	2.09	37.7
H <sub>2</sub> O(l)	4.18	75.3
H <sub>2</sub> O(g)	2.03	36.4

Berapa kalor yang dihasilkan bila 869 g batang besi mendingin dari 94°C ke 5°C?

$$c_{\text{Fe}} = 0,444 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}} = 5^\circ\text{C} - 94^\circ\text{C} = -89^\circ\text{C}$$

$$q = m.c.\Delta t = 869 \text{ g} \times 0,444 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times -89^\circ\text{C} = -34.000 \text{ J}$$



# Kalorimeter

- **Kalorimeter**: alat untuk mengukur kalor yang diserap sistem melalui perubahan suhu lingkungannya

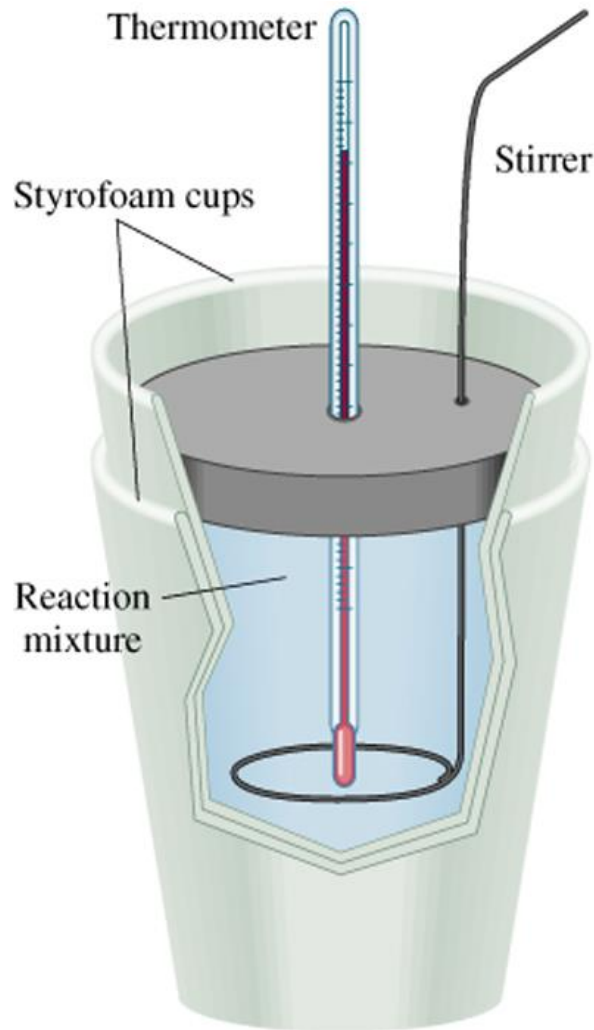
$$q_{\text{system}} = -q_{\text{surroundings}}$$

$$q_{\text{gained}} = -q_{\text{lost}}$$

- Dua tahap dalam pengukuran kalorimetri
  - **Kalibrasi**: Tetapan kalorimeter,  $C_{\text{kalorimeter}}$
  - **Pengukuran aktual**: kalor yang dilepas atau diserap reaksi dari material yang diukur

$$q = C_{\text{kalorimeter}} \times \Delta T$$

# Kalorimeter tekanan tetap



$$q_{\text{sis}} = q_{\text{air}} + q_{\text{kal}} + q_{\text{reaksi}}$$

$$q_{\text{sis}} = 0$$

$$q_{\text{reaksi}} = - (q_{\text{air}} + q_{\text{kal}})$$

$$q_{\text{air}} = m \times s \times \Delta t$$

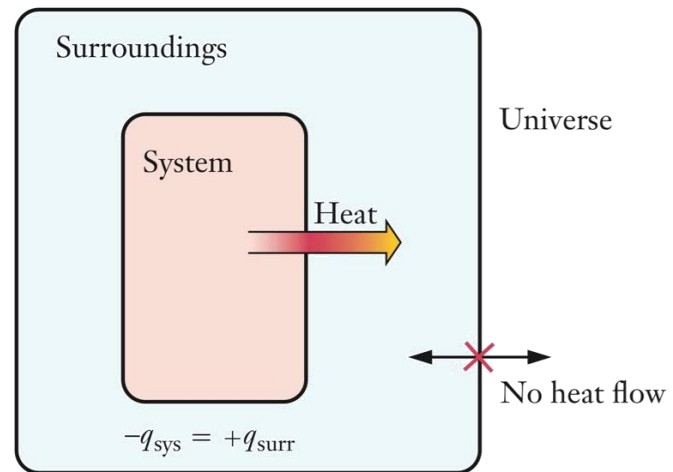
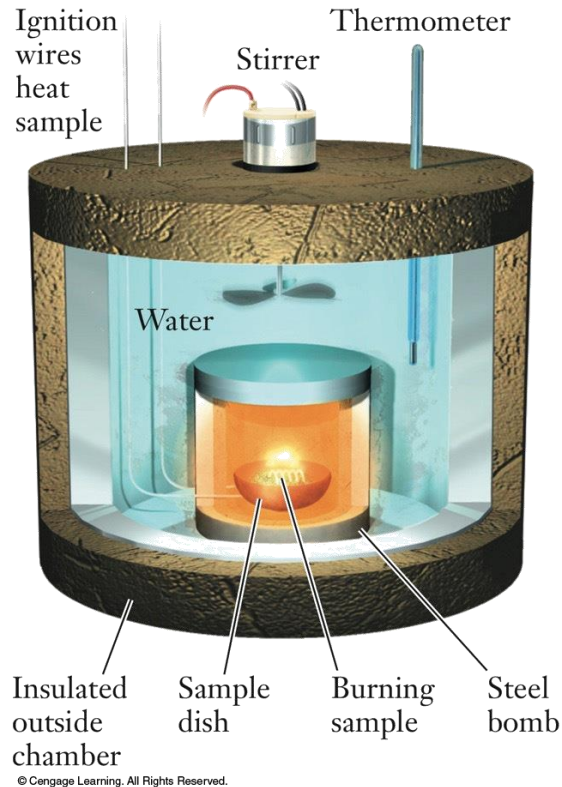
$$q_{\text{kal}} = C_{\text{kal}} \times \Delta t$$

Reaksi pada  **$P$  tetap**

$$\Delta H = q_{\text{reaksi}}$$

Tidak ada kalor yang dapat masuk atau keluar !

# Kalorimeter volum tetap ( kalorimeter bom)



Tidak ada kalor yang dapat masuk atau keluar !

## Kalorimeter volum tetap ( kalorimeter bom)

$$q_{\text{sis}} = q_{\text{air}} + q_{\text{bom}} + q_{\text{reaksi}}$$

$$q_{\text{sis}} = 0$$

$$q_{\text{reaksi}} = - (q_{\text{air}} + q_{\text{bom}})$$

$$q_{\text{air}} = m \times c \times \Delta t$$

$$q_{\text{bom}} = C_{\text{bom}} \times \Delta t$$

Reaksi pada **V tetap**

$$\Delta H \neq q_{\text{reaksi}}$$

**Tidak ada metoda penentuan entalpi zat secara mutlak**  
→

Karena itu dibuat standar **kalor pembentukan standar** ( $\Delta H^0$ ) sebagai titik acuan.

**Kalor pembentukan standar** ( $\Delta H^0_f$ ) adalah kalor yang dihasilkan atau diserap pada pembentukan **1 mol** senyawa dari **unsur-unsurnya** pada **keadaan standar 1 atm dan 25 °C**.

Kalor pembentukan standar suatu **unsur** dalam bentuknya yang paling stabil adalah **nol**.

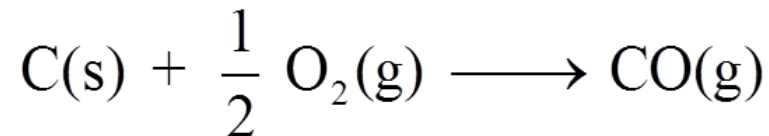
$$\Delta H^0_f (\text{O}_2) = 0$$

$$\Delta H^0_f (\text{C, grafit}) = 0$$

$$\Delta H^0_f (\text{O}_3) = 142 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^0_f (\text{C, intan}) = 1,90 \text{ kJ/mol}$$

- Koefisien pecahan diperbolehkan untuk reaksi pembentukan karena hanya satu mol produk dapat dibentuk



- **Keadaan standar** adalah keadaan elemen yang paling stabil pada suhu kamar, **25 °C**, dan **tekanan, 1 atm**

**Kalor reaksi standar** ( $\Delta H_{\text{rxn}}^0$ ) adalah entalpi suatu reaksi yang berlangsung pada 1 atm dan 25 °C.



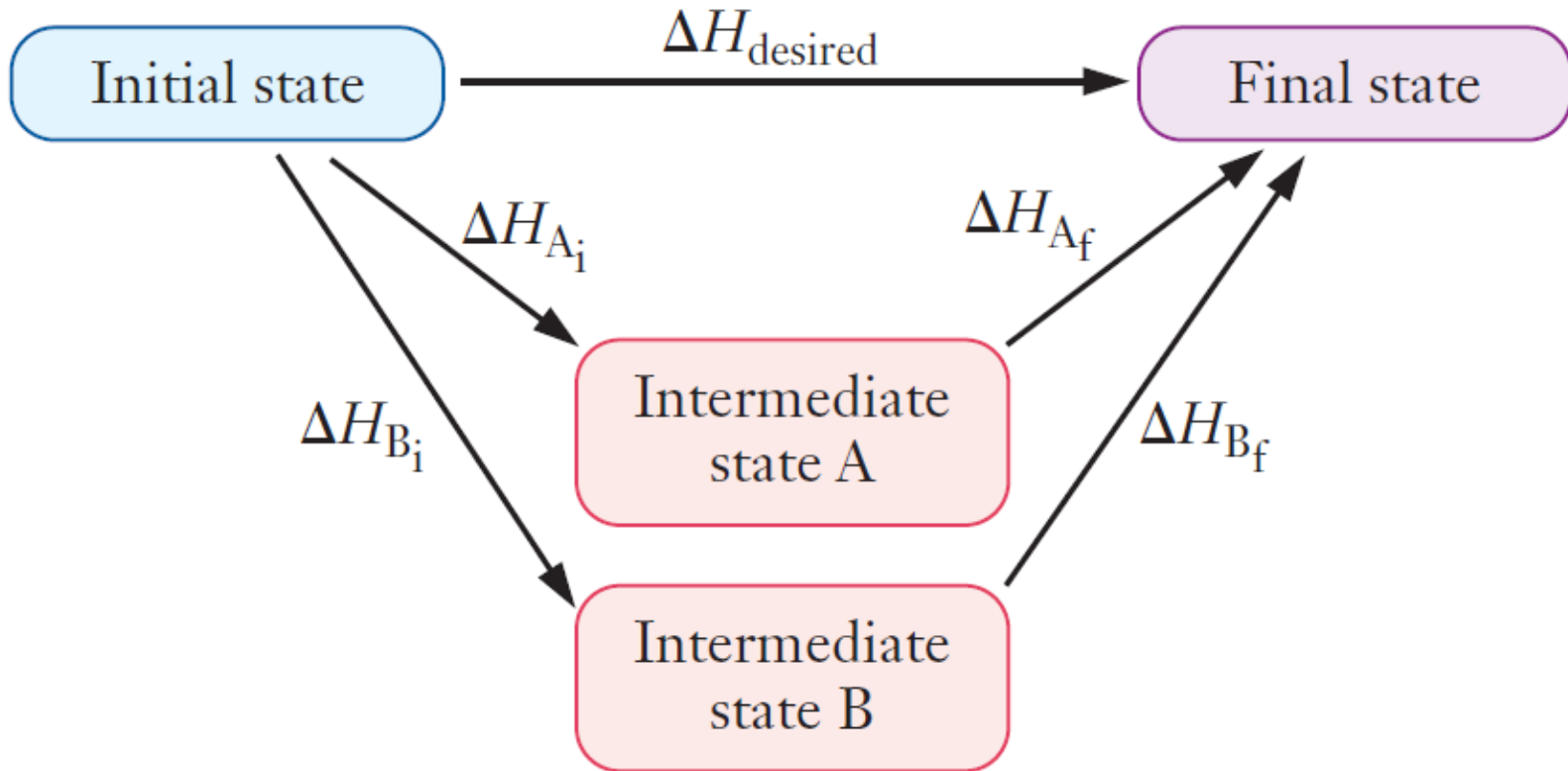
$$\Delta H_{\text{rxn}}^0 = [c\Delta H_f^0 (\text{C}) + d\Delta H_f^0 (\text{D})] - [a\Delta H_f^0 (\text{A}) + b\Delta H_f^0 (\text{B})]$$

$$\Delta H_{\text{rxn}}^0 = \Sigma n\Delta H_f^0 (\text{produk}) - \Sigma m\Delta H_f^0 (\text{reaktan})$$

**Hukum Hess:** Bila reaktan bereaksi menjadi produk, perubahan entalpinya sama, tidak bergantung pada tahap reaksinya ( reaksi 1 tahap atau banyak tahap).

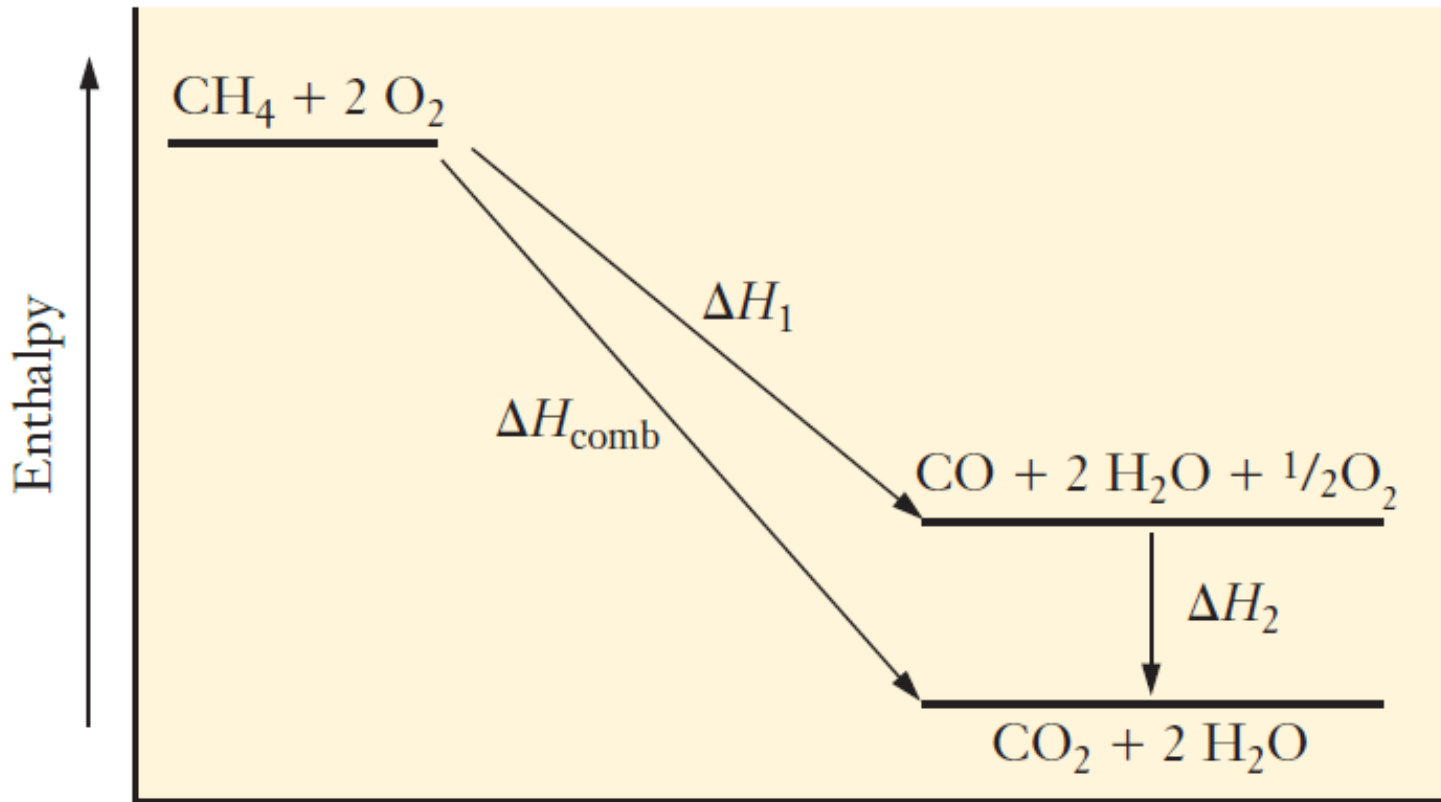
(Entalpi adalah fungsi keadaan → nilainya hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir, tidak bergantung pada prosesnya)

# Hukum Hess



- Entalpi adalah fungsi keadaan  $\rightarrow$  jalannya proses dapat dipakai untuk menghitung perubahan entalpi

# Hukum Hess

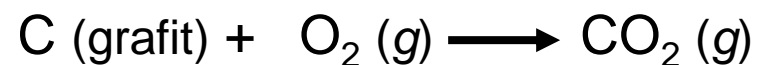
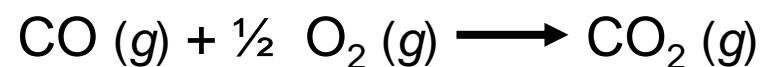
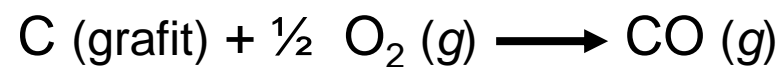
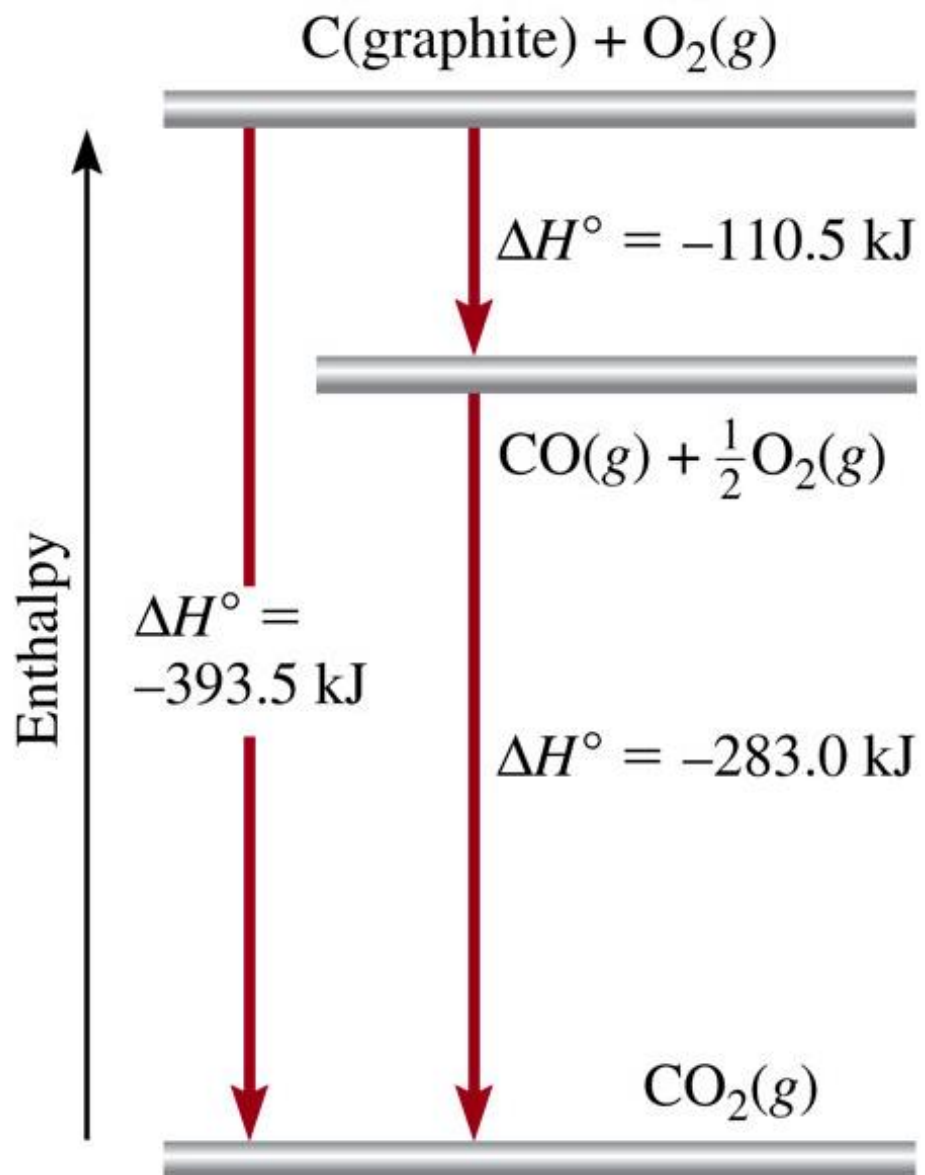


- Diagram entalpi pembakaran metana
  - $\text{CH}_4$  dikonversi menjadi  $\text{CO}$ , kemudian  $\text{CO}$  dikonversi menjadi  $\text{CO}_2$

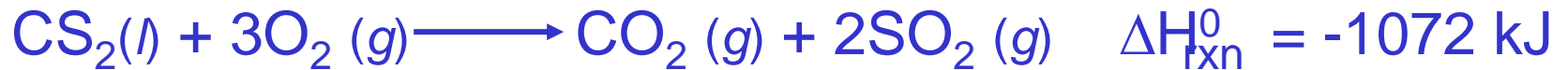
TABLE 6.4

## Standard Enthalpies of Formation of Some Inorganic Substances at 25°C

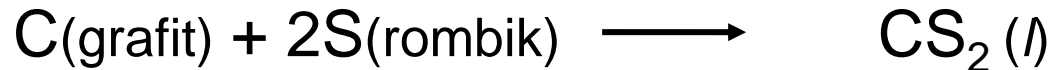
Substance	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Substance	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
Ag(s)	0	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)	-187.6
AgCl(s)	-127.0	Hg(l)	0
Al(s)	0	I <sub>2</sub> (s)	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1669.8	HI(g)	25.9
Br <sub>2</sub> (l)	0	Mg(s)	0
HBr(g)	-36.2	MgO(s)	-601.8
C(graphite)	0	MgCO <sub>3</sub> (s)	-1112.9
C(diamond)	1.90	N <sub>2</sub> (g)	0
CO(g)	-110.5	NH <sub>3</sub> (g)	-46.3
CO <sub>2</sub> (g)	-393.5	NO(g)	90.4
Ca(s)	0	NO <sub>2</sub> (g)	33.85
CaO(s)	-635.6	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (g)	9.66
CaCO <sub>3</sub> (s)	-1206.9	N <sub>2</sub> O(g)	81.56
Cl <sub>2</sub> (g)	0	O(g)	249.4
HCl(g)	-92.3	O <sub>2</sub> (g)	0
Cu(s)	0	O <sub>3</sub> (g)	142.2
CuO(s)	-155.2	S(rhombic)	0
F <sub>2</sub> (g)	0	S(monoclinic)	0.30
HF(g)	-271.6	SO <sub>2</sub> (g)	-296.1
H(g)	218.2	SO <sub>3</sub> (g)	-395.2
H <sub>2</sub> (g)	0	H <sub>2</sub> S(g)	-20.15
H <sub>2</sub> O(g)	-241.8	ZnO(s)	-348.0
H <sub>2</sub> O(l)	-285.8		



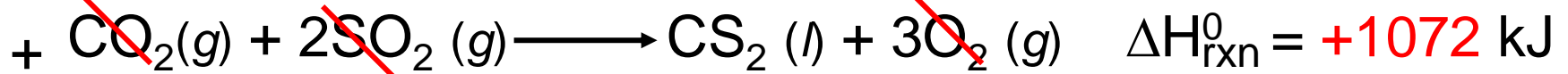
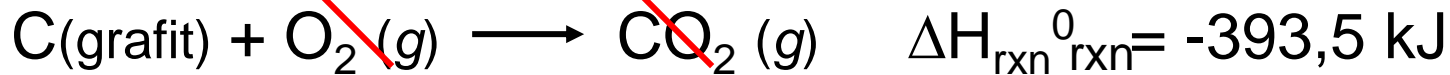
Hitung kalor pembentukan standar  $\text{CS}_2$  (l) bila diketahui:



1. Tuliskan reaksi pembentukan  $\text{CS}_2$

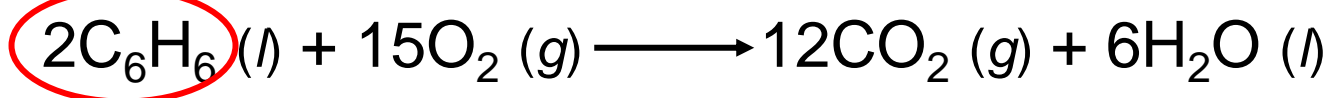


2. Jumlahkan reaksi yang diketahui sehingga jumlahnya sama seperti reaksi yang diinginkan.



$$\Delta H_{\text{rxn}}^0 = -393,5 + (2 \times -296,1) + 1072 = 86,3 \text{ kJ}$$

Benzen ( $C_6H_6$ ) dibakar di udara menghasilkan karbon dioksida dan air ( cair). Hitung kalor yang dilepaskan per mol benzen yang dibakar. Kalor pembentukan standar benzen adalah 49,04 kJ/mol. Hitung perubahan energi dalam pada reaksi tersebut.



$$\Delta H_{rxn}^0 = \sum n \Delta H_f^0 (\text{produk}) - \sum m \Delta H_f^0 (\text{reaktan})$$

$$\Delta H_{rxn}^0 = [12 \Delta H_f^0 (CO_2) + 6 \Delta H_f^0 (H_2O)] - [2 \Delta H_f^0 (C_6H_6)]$$

$$\Delta H_{rxn}^0 = [12 \times -393,5 + 6 \times -187,6] - [2 \times 49,04] = -5946 \text{ kJ}$$

$$\frac{-5946 \text{ kJ}}{2 \text{ mol}} = -2973 \text{ kJ/mol } C_6H_6$$

**Kalor pelarutan** ( $\Delta H_{\text{soln}}$ ) adalah kalor yang dihasilkan atau diserap bila sejumlah zat terlarut dilarutkan dalam sejumlah pelarut.

$$\Delta H_{\text{pelarutan}} = H_{\text{larutan}} - H_{\text{komponen}}$$

**TABLE 6.5**

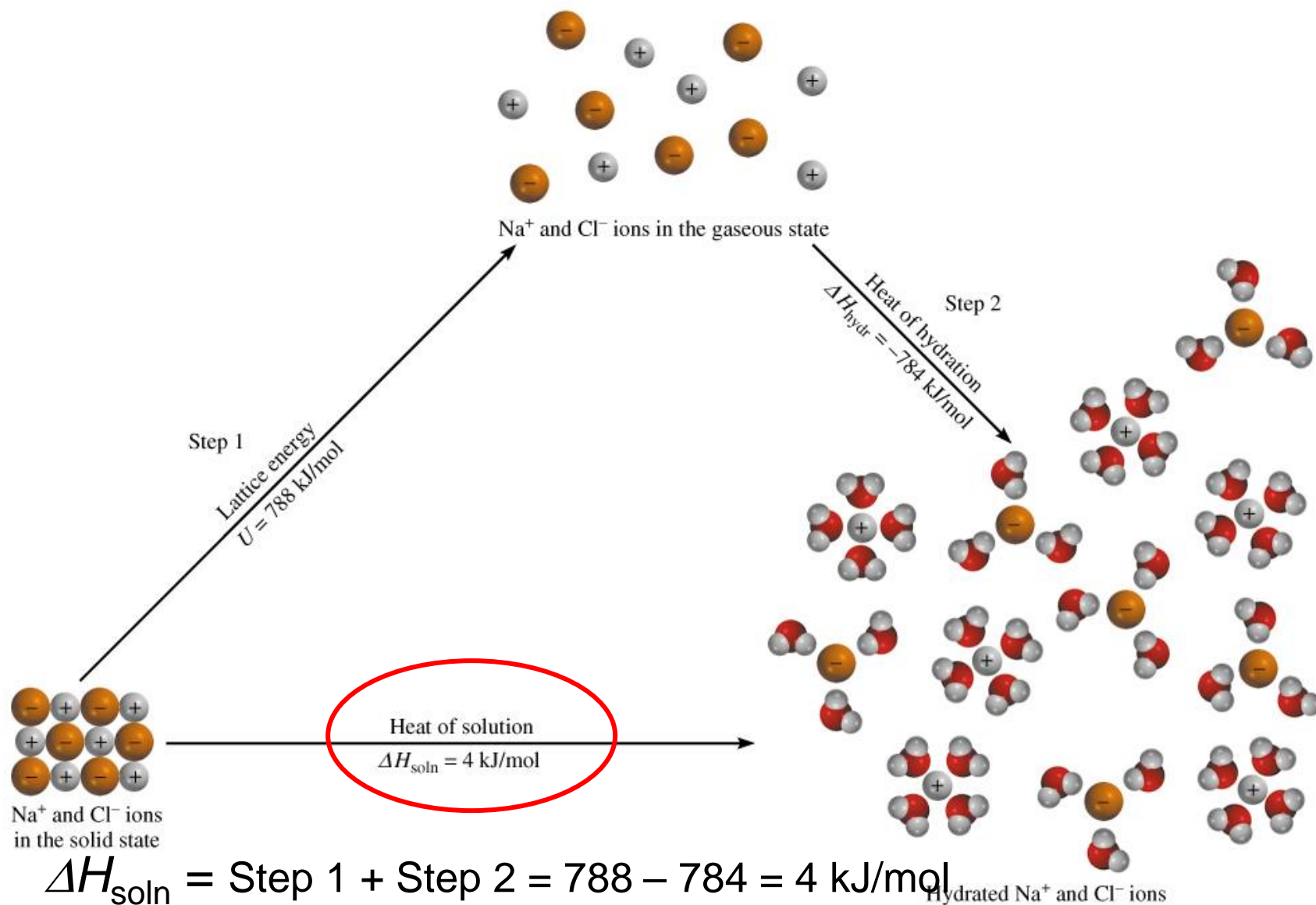
**Heats of Solution of  
Some Ionic Compounds**

<b>Compound</b>	<b><math>\Delta H_{\text{soln}}</math> (kJ/mol)</b>
LiCl	-37.1
CaCl <sub>2</sub>	-82.8
NaCl	4.0
KCl	17.2
NH <sub>4</sub> Cl	15.2
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	26.2

Senyawa apa saja yang dapat digunakan untuk melelehkan es?

Senyawa apa saja yang dapat digunakan untuk *cold pack*?

# Proses pelarutan NaCl



# Kalor reaksi untuk beberapa reaksi khusus

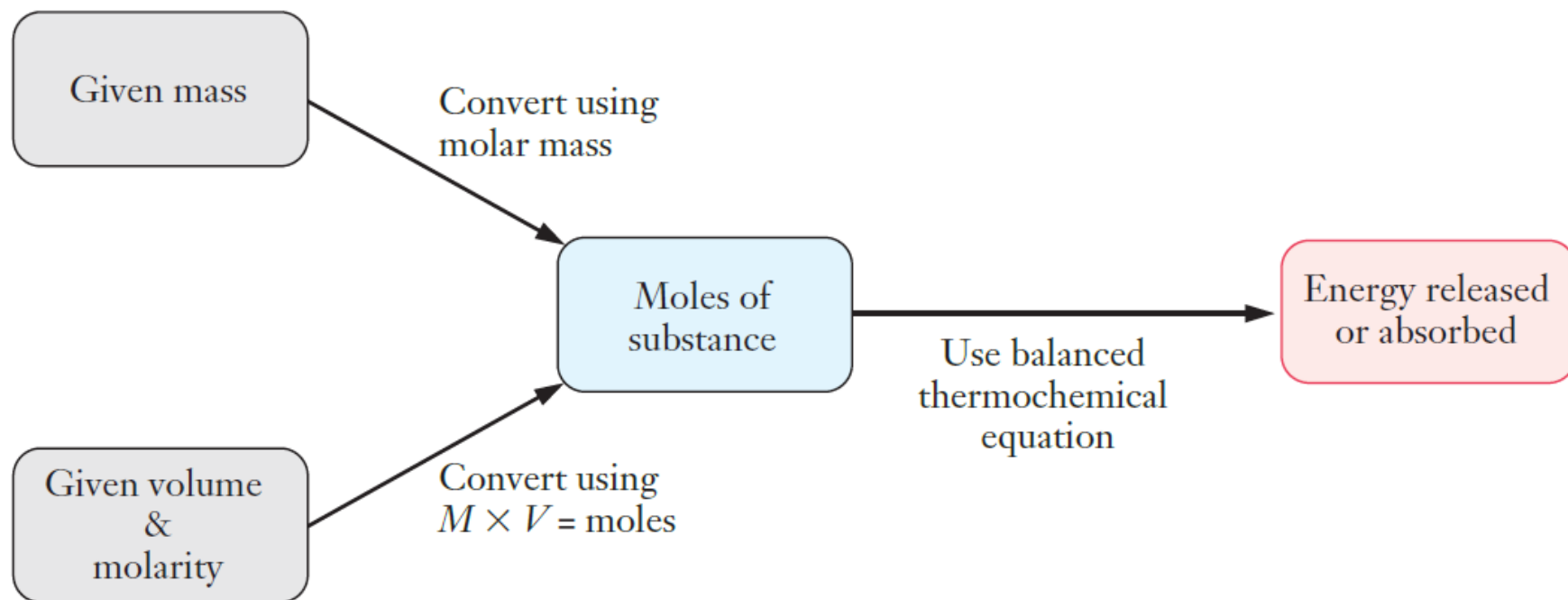
- Nama khusus:
  - Kalor pembakaran, Heats of combustion,  $\Delta H_{\text{comb}}$
  - Kalor penetralan, Heats of neutralization,  $\Delta H_{\text{neut}}$
  - Kalor pembentukan, Heats of formation,  $\Delta H_{\text{f}}$
- Untuk pembentukan 1 mol produk, ada kemungkinan koefisien reaksi reaktan dalam bentuk pecahan

**TABLE 6.3****Heats of Some Typical Reactions Measured at Constant Pressure**

Type of Reaction	Example	$\Delta H$ (kJ/mol)
Heat of neutralization	$\text{HCl}(aq) + \text{NaOH}(aq) \longrightarrow \text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$	-56.2
Heat of ionization	$\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$	56.2
Heat of fusion	$\text{H}_2\text{O}(s) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$	6.01
Heat of vaporization	$\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$	44.0*
Heat of reaction	$\text{MgCl}_2(s) + 2\text{Na}(l) \longrightarrow 2\text{NaCl}(s) + \text{Mg}(s)$	-180.2

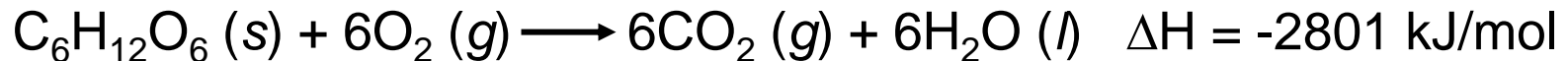
\*Measured at 25°C. At 100°C, the value is 40.79 kJ.

# Energi dan stoikiometri



# Aplikasi

Nilai kalori bahan pangan dan senyawa lainnya



$$1 \text{ kal} = 4,184 \text{ J}$$

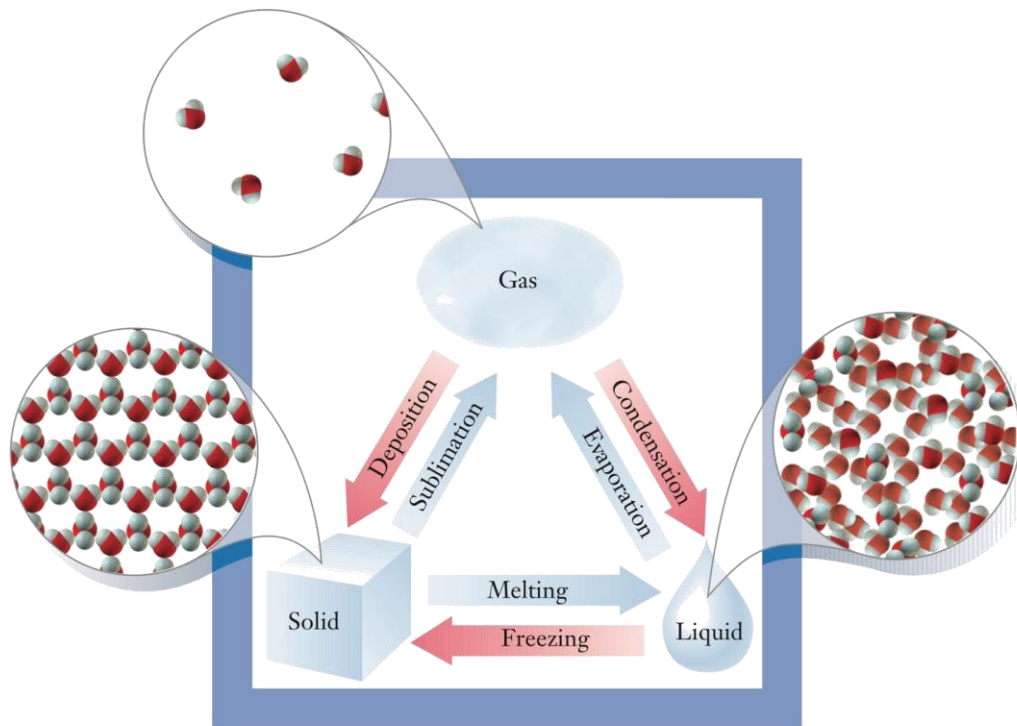
$$1 \text{ kkal} = 1000 \text{ kal} = 4184 \text{ J}$$

Senyawa	$\Delta H_{\text{pembakaran}}$ (kJ/g)
Apel	-2
Daging sapi	-8
Bensin	-34

Nutrition Facts	
Serving Size 6 cookies (28g)	
Servings Per Container about 11	
Amount Per Serving	
<b>Calories</b> 120	Calories from Fat 30
% Daily Value*	
<b>Total Fat</b> 4g	<b>6%</b>
Saturated Fat 0.5g	<b>4%</b>
Polyunsaturated Fat 0g	
Monounsaturated Fat 1g	
<b>Cholesterol</b> 5mg	<b>2%</b>
<b>Sodium</b> 105mg	<b>4%</b>
<b>Total Carbohydrate</b> 20g	<b>7%</b>
Dietary Fiber Less than 1gram	<b>2%</b>
Sugars 7g	
<b>Protein</b> 2g	

# $\Delta H$ pada perubahan fasa

- Perubahan fasa terjadi pada **tekanan tetap**
  - $\Delta H$
  - Selama perubahan fasa terjadi, **temperatur tetap**

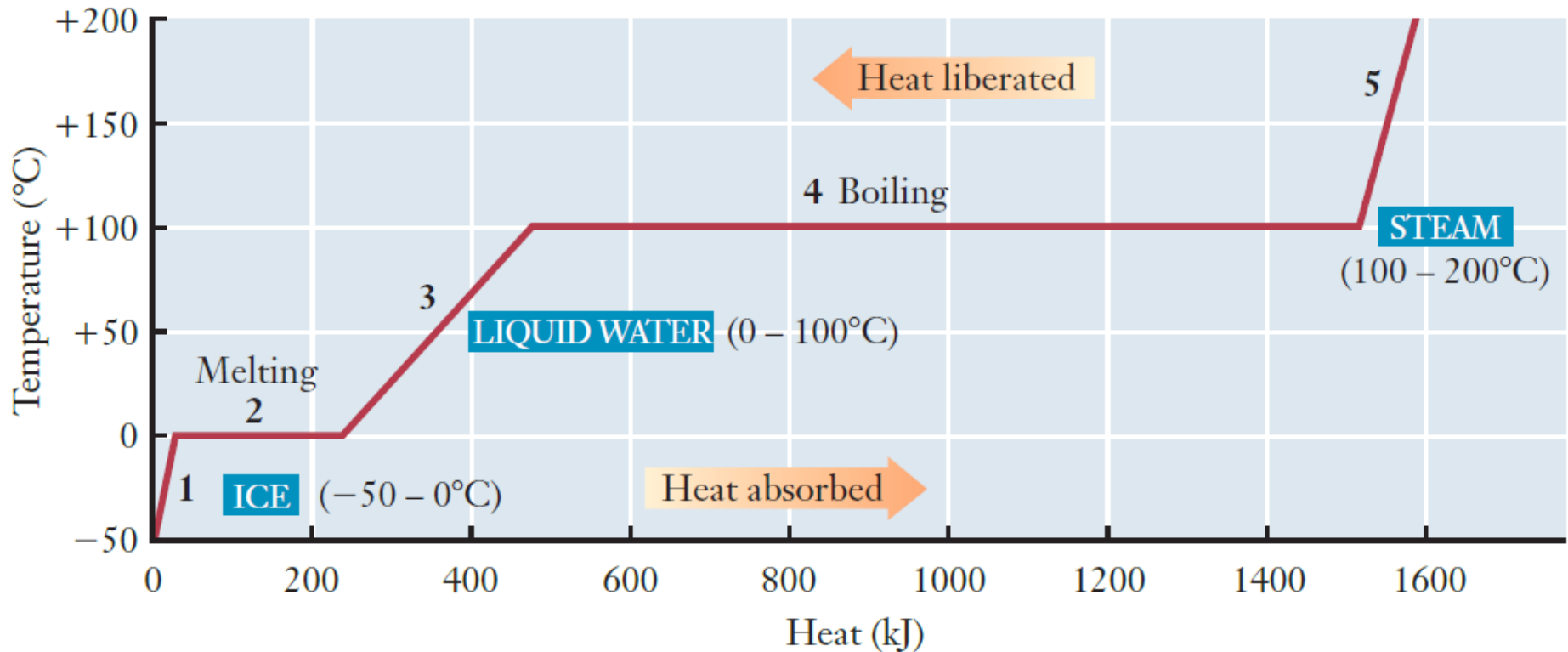


# Kalor pada transisi fasa

- Kalor yang diperlukan untuk mengubah cairan menjadi gas adalah **kalor penguapan**,  $\Delta H_{\text{vap}}$ 
  - $\Delta H_{\text{vap}} > 0 \rightarrow$  reaksi **endoterm**
- Kalor yang dilepas untuk mengubah gas menjadi cairan adalah **kalor kondensasi**,  $\Delta H_{\text{cond}}$ 
  - $\Delta H_{\text{cond}} < 0 \rightarrow$  reaksi **eksoterm**
- $\Delta H_{\text{cond}} = -\Delta H_{\text{vap}}$ 
  - Perubahan entalpi sama nilainya tetapi berbeda tandanya
  - Besarnya perubahan entalpi tergantung pada zat yang terlibat
- $\Delta H$  perubahan fasa memiliki satuan kJ/mol

$$\Delta H = n \times \Delta H_{\text{phase change}}$$

# $\Delta H$ perubahan fasa



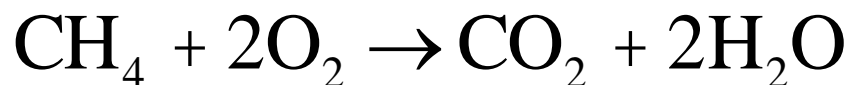
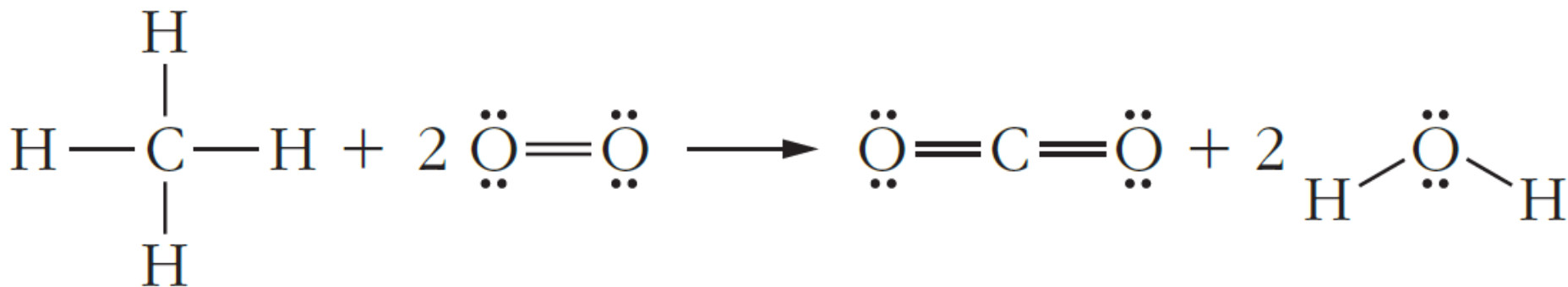
- Kurva pemanasan dari 500 gram es pada  $-50^{\circ}\text{C}$  menjadi  $200^{\circ}\text{C}$

Standard molar enthalpies and temperatures for phase changes of water

Phase Change	Fusion	Freezing	Vaporization	Condensation
Transition Temperature	0°C	0°C	100°C	100°C
$\Delta H$ (J/mol)	6009.5	−6009.5	40,700	−40,700

# Ikatan & energi

- Perubahan entalpi dapat dihitung dari energi ikatan.
- Pada reaksi kimia terjadi **pemutusan ikatan reaktan** (memerlukan energi) dan **pembentukan ikatan produk** (melepaskan energi)
- Bila energi pemutusan ikatan  $<$  energi pembentukan ikatan  $\rightarrow$  reaksi **eksotermik**
- Bila energi pemutusan ikatan  $>$  energi pembentukan ikatan  $\rightarrow$  reaksi **endotermik**



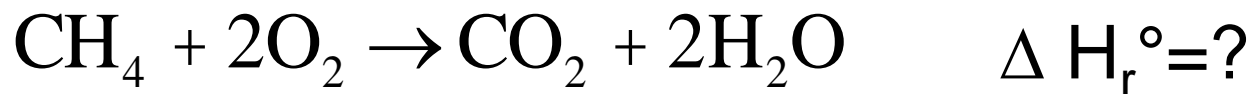
Pembakaran metana:

memutuskan 4 ikatan C—H dan 2 ikatan O=O

membentuk 2 ikatan C=O dan 4 ikatan O—H

# Data energi ikatan

- C – H 413 kJ/mol
- O = O 495 kJ/mol
- C = O 799 kJ/mol
- O – H 463 kJ/mol



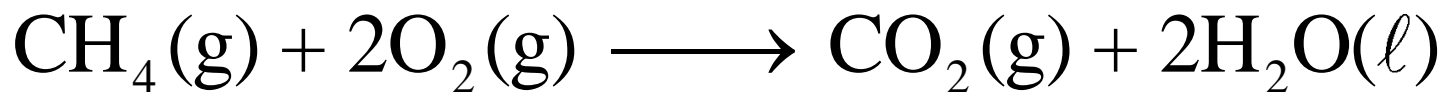
- Catatan:

**energi ikatan** adalah **nilai rata-rata**, sehingga nilainya tidak terlalu akurat.

- Metoda ini dipakai bila tidak ditemukan data termokimia

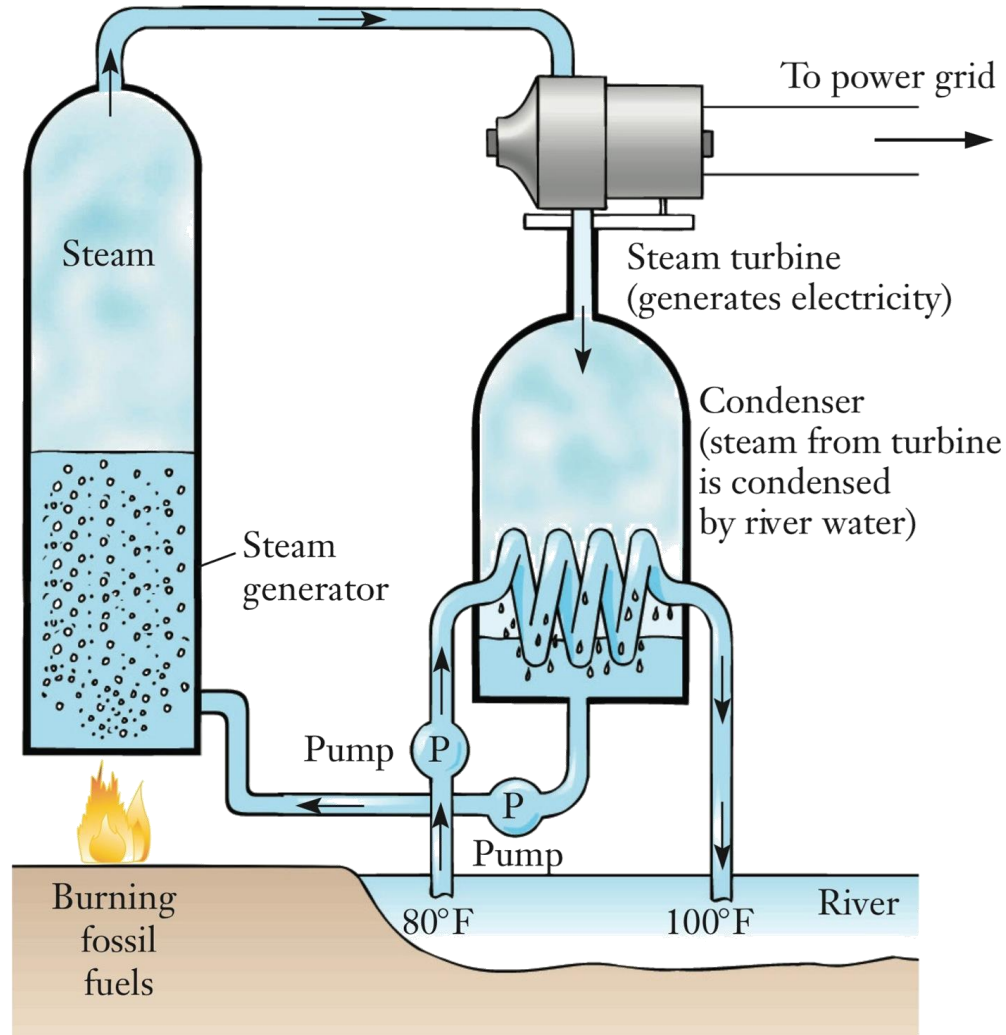
- **Persamaan termokimia** menggambarkan energi keseluruhan suatu reaksi kimia

- Tanda  $\Delta H$  menunjukkan apakah reaksi eksotermik atau endotermik



$$\Delta H = -890.4 \text{ kJ}$$

# Penguapan dan produksi listrik



© Cengage Learning. All Rights Reserved.

# Kerapatan energi dan bahan bakar

- Ketika memutuskan manfaat ekonomis bahan bakar, beberapa faktor harus dipertimbangkan
  - Teknologi tersedia untuk mengekstrak bahan bakar
  - Jumlah polusi yang dikeluarkan oleh pembakarannya
  - Keamanan bahan bakar
  - Kemudahan mengangkut bahan bakar
  - **Kerapatan energi** bahan bakar (jumlah energi yang dilepas per gram bahan bakar yang terbakar)

Table 9.4 Energy densities

Fuel	Energy Density (MJ/kg)
Hydrogen	142.0
Methane	55.5
Octane	47.9
Propane	50.3
Aviation gasoline	43.1
Coal, anthracite	31.4
Diesel fuel	45.3
Oil, crude (petroleum)	41.9
Oil, heating	42.5
Gasoline, automotive	45.8
Kerosene	46.3
Wood, oven dry	20.0