


# Thermodinamika

**Drs. Iqmal Tahir, M.Si.**  
iqmal@ugm.ac.id

iqmal@ugm.ac.id

## IV. Hukum pertama Thermodinamika

### A. Panas dan Kerja



- Perubahan kuantitas energi dalam suatu sistem ( $\Delta E$ ) adalah jumlah panas yang ditransfer ( $q$ ) menuju atau dari sistem dan kerja ( $w$ ) yang dikenakan atau oleh sistem.

$$\Delta E = q + w$$

iqmal@ugm.ac.id

## IV. Hukum pertama Thermodinamika

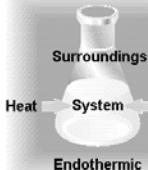
### B. Enthalpi (H)

- Orang kimia tertarik pada perubahan energi yang terjadi pada reaksi kimia. Sebagian besar reaksi kimia terjadi wadah terbuka, sehingga tekanan bersifat konstan.

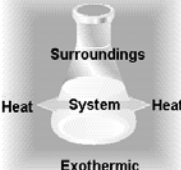
**Enthalpi (H)** - Panas yang terkandung dalam suatu senyawa pada tekanan konstan.

- perubahan **Enthalpi ( $\Delta H$ )** adalah apa yang menjadi perhatian orang kimia dan sesuatu yang biasa diukur di laboratorium.
- Harga  $\Delta E$  dan  $\Delta H$  yang negatif mengindikasikan bahwa energi ditransfer dari sistem ke lingkungan. Hal ini disebut proses **eksotermis**.
- Harga  $\Delta E$  dan  $\Delta H$  yang positif mengindikasikan bahwa energi ditransfer dari lingkungan ke sistem. Hal ini disebut proses **endotermis**.

## Proses Endotermis and Eksotermis



Endothermic



Exothermic

iqmal@ugm.ac.id

## Enthalpi - H (fungsi keadaan)

- Deskripsi panas yang dibutuhkan (+) atau dilepaskan (-) pada sistem tertutup (tekanan konstan)

$$\Delta H = H_{(akhir)} - H_{(awal)}$$

- Suatu fungsi keadaan : hanya tergantung dari keadaan sistem yang ada, tidak tergantung dari bagaimana langkah asalnya.



iqmal@ugm.ac.id

## IV. Hukum pertama Thermodinamika

### B. Enthalpi (H)

- Air yang mendidih adalah contoh proses **endothermic**.

$$H_2O(l) \rightarrow H_2O(g) \quad \Delta H_{vap} = + 44.0 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O(l) + 44.0 \text{ kJ} \rightarrow H_2O(g)$$

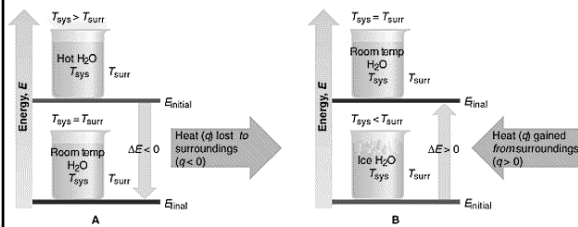
- Air yang mengembun adalah contoh proses **exothermic**.

$$H_2O(g) \rightarrow H_2O(l) \quad \Delta H_{cond} = - 44.0 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2O(g) \rightarrow H_2O(l) + 44.0 \text{ kJ}$$

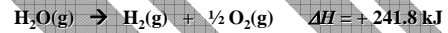
iqmal@ugm.ac.id

## Proses Endothermis and Eksothermis

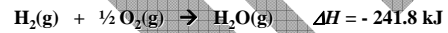


## V. Perubahan enthalpi dari reaksi kimia

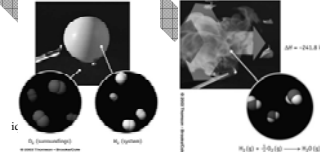
- Perubahan enthalpi merujuk pada seluruh reaksi kimia.
- Dekomposisi uap air menjadi unsur-unsurnya adalah proses endothermic.



- Pembentukan uap air dari unsur-unsurnya adalah proses exothermic.

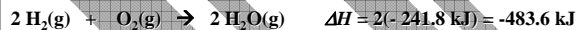


- Harga  $\Delta H$  secara numerik adalah sama, tetapi berlawanan tanda, untuk reaksi kimia yang berlawanan.



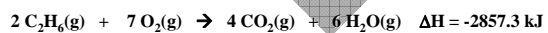
## V. Perubahan enthalpi dari reaksi kimia

- Kuantitas panas yang ditransfer selama reaksi kimia tergantung dari jumlah reaktan yang digunakan atau produk yang terbentuk.



**Contoh 1:** Berapa kuantitas panas yang dibutuhkan untuk dekomposisi 28,3 g uap air menjadi unsur-unsurnya?

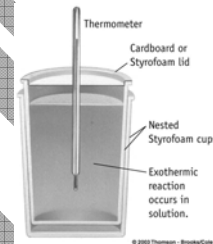
**Contoh 2:** Pembakaran etana,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , memiliki perubahan enthalpi sebesar -2857,3 kJ untuk reaksi di bawah ini. Hitung  $\Delta H$  dari 15,0 g  $\text{C}_2\text{H}_6$  yang dibakar.



iqmal@ugm.ac.id

## VI. Kalorimetri

- Metoda yang digunakan dalam laboratorium adalah untuk mengukur panas yang dilepaskan dari suatu reaksi kimia.
- bentuk "coffee-cup calorimeter" adalah suatu kalorimeter sederhana yang sering digunakan di laboratorium kimia.



$$q_{\text{sol'n}} + q_{\text{rex'n}} = 0$$

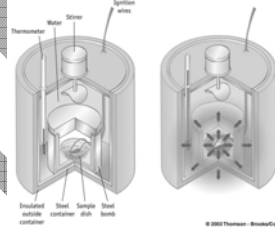
**Contoh:** Campurkan 200. mL 0.400 M HCl dengan 200. mL NaOH ke dalam coffee-cup calorimeter. Temperatur masing-masing larutan sebelum dicampur adalah 25.10 °C dan setelah pencampuran temperatur menjadi 27.78 °C. berapa enthalpi molar reaksi netralisasi tersebut? ( $D_{\text{sol'n}} = 4,18 \text{ J/g}\cdot\text{K}$  dan  $C_{\text{sol'n}} = 4,20 \text{ J/g}\cdot\text{K}$ )

## VI. Kalorimetri

- kalorimeter bom adalah peralatan yang biasa digunakan untuk penentuan panas pembakaran atau kalori suatu bahan pangan.

$$q_{\text{rex'n}} + q_{\text{bom}} + q_{\text{air}} = 0$$

**Contoh:** Sampel sukrosa 1.00 g ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) dibakar dalam bomb calorimeter. Temperatur  $1,50 \times 10^3 \text{ g}$  air meningkat dari 25,00 °C menjadi 27,32 °C. kapasitas panas bom adalah 837 J/K. Hitung (a) panas yang dilepaskan per gram sukrosa dan (b) panas yang dilepaskan per mol sukrosa.



## VII. Hess's Law

- Jika suatu reaksi merupakan jumlah dari dua atau lebih reaksi,  $\Delta H$  untuk reaksi keseluruhan adalah jumlah  $\Delta H$  dari masing-masing reaksi

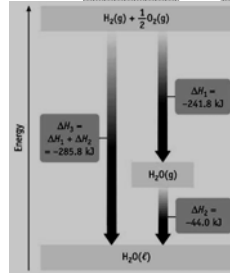
Berapa harga  $\Delta H$  untuk reaksi berikut?



iqmal@ugm.ac.id

## VII. Hess's Law

- Jika suatu reaksi merupakan jumlah dari dua atau lebih reaksi,  $\Delta H$  untuk reaksi keseluruhan adalah jumlah  $\Delta H$  dari masing-masing reaksi



**Fungsi keadaan** - Perubahan energi untuk suatu perubahan kimia atau perubahan fisika adalah tidak tergantung dari laju yang diikuti, hanya tergantung dari keadaan awal dan akhir saja.

iqmal@ugm.ac.id

## VIII. Enthalpi standar pembentukan

**Keadaan standar** - bentuk paling stabil dari suatu senyawa yang berada pada kondisi temperatur 25 °C dan tekana 1 bar.

$$\Delta H^\circ \leftarrow \text{Standard State (25 } ^\circ\text{C, 1 bar)}$$

**Enthalpi pembentukan standar molar ( $\Delta H_f^\circ$ )** -  $\Delta H$  untuk pembentukan 1 mol senyawa dalam keadaan standar dari unsur-unsurnya.



iqmal@ugm.ac.id

## VIII. Enthalpi standar pembentukan

Table 6.2 • Selected Standard Molar Enthalpies of Formation at 298 K

Substance	Name	Standard Molar Enthalpy of Formation (kJ/mol)
H <sub>2</sub> O(l)	liquid water	-285.83
H <sub>2</sub> O(g)	water vapor	-241.83
N <sub>2</sub> (g)	nitrogen	0
NH <sub>3</sub> (g)	ammonia	-45.90
NH <sub>4</sub> Cl(s)	ammonium chloride	-314.55
NO(g)	nitric oxide	+90.29
NO <sub>2</sub> (g)	nitrogen dioxide	+33.10
NaCl(s)	sodium chloride	-411.12
NaCl(aq)*	sodium chloride (1 M)	-407.3
NaOH(s)	sodium hydroxide	-425.93
NaOH(aq)*	sodium hydroxide (1 M)	-470.1
S <sub>8</sub> (s)	sulfur	0
SO <sub>2</sub> (g)	sulfur dioxide	-296.84
SO <sub>3</sub> (g)	sulfur trioxide	-395.77

© 2003 Thomson - Brooks/Cole

## Enthalpi standar pembentukan (at 24° C)

Formula	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Formula	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
<b>Oxygen</b>			
O(g)	249.2		
O <sub>2</sub> (g)	0		
O <sub>3</sub> (g)	143		
OH <sup>-</sup> (aq)	\$ 229.9		
H <sub>2</sub> O(g)	\$ 241.8		
H <sub>2</sub> O(l)	\$ 285.8		
<b>Sulfur</b>			
S(g)	279		
S <sub>8</sub> (g)	129		
<b>S<sub>8</sub> rhombic</b>			
<b>Nitrogen</b>			
N(g)	473		
N <sub>2</sub> (g)	0		
NH <sub>3</sub> (g)	\$ 45.9		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (aq)	\$ 132.8		
NO(g)	90.3		
NO <sub>2</sub> (g)	33.2		
HNO <sub>3</sub> (aq)	\$ 206.6		

Copyright © Houghton Mifflin Company. All rights reserved

iqmal@ugm.ac.id

Table 6-2B

## Enthalpi standar pembentukan (at 24° C)

Formula	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	Formula	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
<b>Silver</b>			
Ag <sup>+</sup> (g)	1026.4		
Ag <sup>+</sup> (aq)	105.9		
Ag(s)	0		
AgF(s)	\$ 203		
AgCl(s)	\$ 127.0		
AgBr(s)	\$ 99.5		
AgI(s)	\$ 62.4		

Copyright © Houghton Mifflin Company. All rights reserved

iqmal@ugm.ac.id

Table 6-2C

## VIII. Enthalpi standar pembentukan

- Enthalpi standar untuk unsur dalam keadaan standar adalah nol.
- Harga entalpi standar pembentukan dari senyawa dalam bentuk larutan merujuk pada larutan dengan konsentrasi 1 M dari unsur-unsurnya menjadi senyawa dan ditambah entalpi pelarutan dalam air.
- harga  $\Delta H_f^\circ$  dari kebanyakan senyawa adalah negatif yang mengindikasikan pembentukan senyawa dari unsur-unsurnya adalah eksotermis.
- harga  $\Delta H_f^\circ$  digunakan untuk membandingkan kestabilan relatif dari beberapa senyawa.

Table 6.3 • Standard Molar Enthalpies of Formation of the Hydrogen Halides (kJ/mol, at 298 K)

Compound	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
HF(g)	-273.3
HCl(g)	-92.3
HBr(g)	-36.3
HI(g)	+26.5

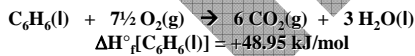
### VIII. Enthalpi standar pembentukan

#### Perubahan Enthalpi pada reaksi

- Perubahan enthalpi pada suatu reaksi pada kondisi standar dapat dihitung dari enthalpi molar standar untuk masing-masing reaktan dan produk :

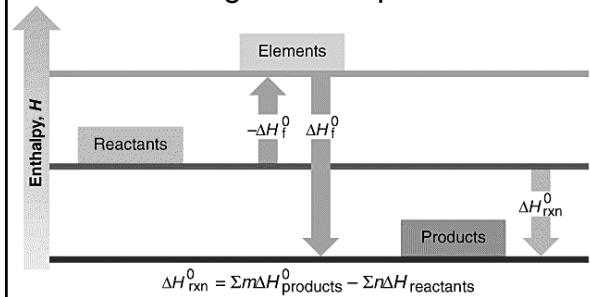
$$\Delta H_{rxn}^{\circ} = \sum [\Delta H_f^{\circ}(\text{products})] - \sum [\Delta H_f^{\circ}(\text{reactants})]$$

**Contoh 1:** Hitung entalpi standar pembakaran benzena, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>.

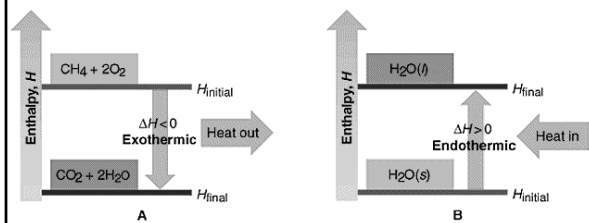


iqmal@ugm.ac.id

### Perhitungan enthalpi reaksi



### Perhitungan enthalpi



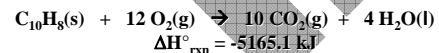
### VIII. Enthalpi standar pembentukan

#### Perubahan Enthalpi pada reaksi

- Perubahan enthalpi pada suatu reaksi pada kondisi standar dapat dihitung dari enthalpi molar standar untuk masing-masing reaktan dan produk :

$$\Delta H_{rxn}^{\circ} = \sum [\Delta H_f^{\circ}(\text{products})] - \sum [\Delta H_f^{\circ}(\text{reactants})]$$

**Contoh 2:** Perubahan enthalpi untuk reaksi oksidasi naphthalene, C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>, dapat diukur secara kalorimetri.

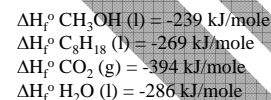


Hitung enthalpi standar pembentukan untuk naphthalene, C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>.

### Contoh -

#### Bahan bakar mobil alternatif

Methanol sering digunakan sebagai bahan bakar alternatif sebagai pengganti bensin pada mobil balap. Tentukan enthalpi pembakaran methanol per gram dengan menggunakan data enthalpi pembentukan berikut :



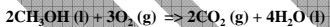
### Perhitungan ΔH° Reaksi

- $\Delta H_{rxn}^{\circ} = \sum n\Delta H_f^{\circ}(\text{prod}) - \sum m\Delta H_f^{\circ}(\text{react})$
- Ingat untuk mengubah tanda ΔH<sub>f</sub><sup>∘</sup> jika reaksi dibalik.
- Jika reaksi pembentukan harus dikalikan dengan suatu bilangan maka ΔH<sub>f</sub><sup>∘</sup> juga sama
- Unsur dalam keadaan standar tidak memberikan kontribusi ΔH<sup>∘</sup>.

iqmal@ugm.ac.id

iqmal@ugm.ac.id

## Pembakaran etanol



$$\Delta H^\circ_{\text{reaction}} = \sum n\Delta H_f^\circ(\text{prod}) - \sum m\Delta H_f^\circ(\text{react})$$

$$= 2 \times \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) + 4 \times \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}) - 2 \times \Delta H_f^\circ(\text{CH}_3\text{OH}) - 3 \times \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O})$$

$$= 2 \times (-394 \text{ kJ}) + 4 \times (-286 \text{ kJ}) - 2 \times (-239 \text{ kJ})$$

$$= -1454 \text{ kJ} / 2 \text{ moles CH}_3\text{OH}$$

Konversi menjadi  $\Delta H_f^\circ/\text{g}$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaction}}/\text{g} = -1454 \text{ kJ} / 2 \text{ moles CH}_3\text{OH}$$

$$= -1454 \text{ kJ} / [2 \text{ moles} \times (32.0 \text{ g/mol})]$$

$$= -22.7 \text{ kJ/g}$$

iqmal@ugm.ac.id

## Enthalpi standar pembentukan

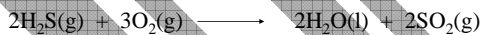
■ Gas hidrogen sulfida gas adalah gas yang beracun dan berbau telur busuk. Gas ini di udara terbakar dengan oksigen mengikuti reaksi :



Hitung perubahan enthalpi standar untuk reaksi tersebut !

iqmal@ugm.ac.id

## Enthalpi standar pembentukan



$$2(-20) \quad 3(0) \quad \quad \quad 2(-285.8) \quad 2(-296.8) \quad (\text{kJ})$$

$$\Delta H^\circ = \sum n \Delta H^\circ(\text{products}) - \sum m \Delta H^\circ(\text{reactants})$$

$$= [2(-285.8) + 2(-296.8)] - [2(-20) + 3(0)] \text{ kJ}$$

$$= -1125.2 = -1125 \text{ kJ}$$

iqmal@ugm.ac.id