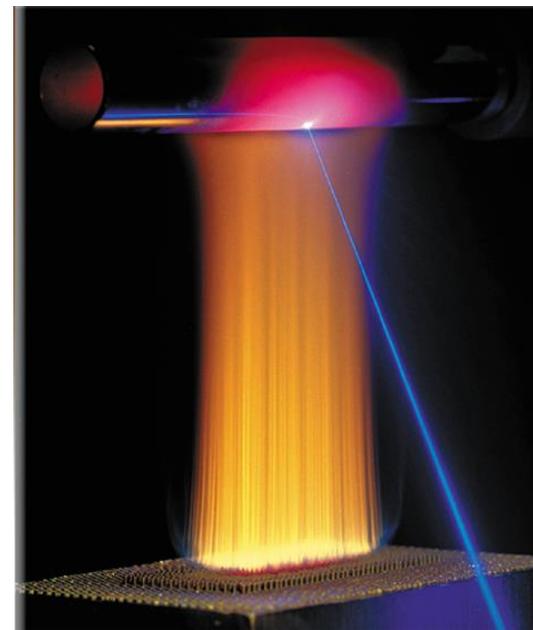




Bencana Hindenburg. Hindenburg sebuah pesawat Jerman yang diisi dengan gas hidrogen, hancur pada suatu malam yang spektakuler di Lakehurst, New Jersey, pada tahun 1937.

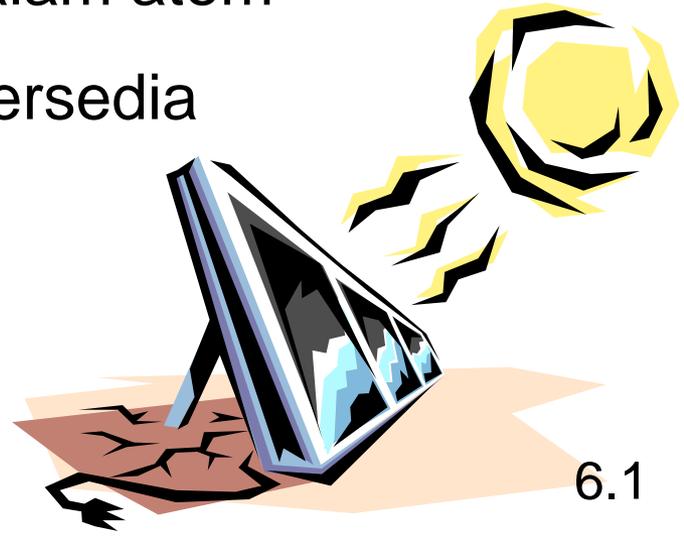
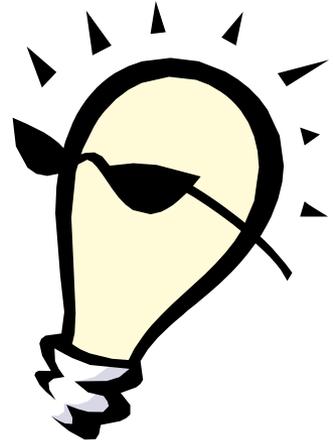
Termokimia

Bab 6



Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja

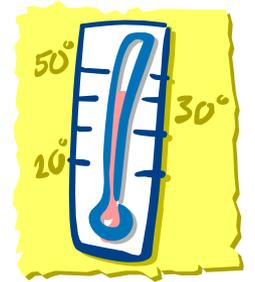
- **Energi radiasi** berasal dari matahari dan merupakan sumber energi utama dari bumi
- **Energi panas** adalah energi yang berkaitan dengan gerak acak atom-atom dan molekul
- **Energi kimia** adalah energi yang tersimpan dalam ikatan zat kimia
- **Energi nuklir** adalah energi yang tersimpan dalam kumpulan neutron dan proton dalam atom
- **Energi potensial** adalah energi yang tersedia akibat posisi suatu benda



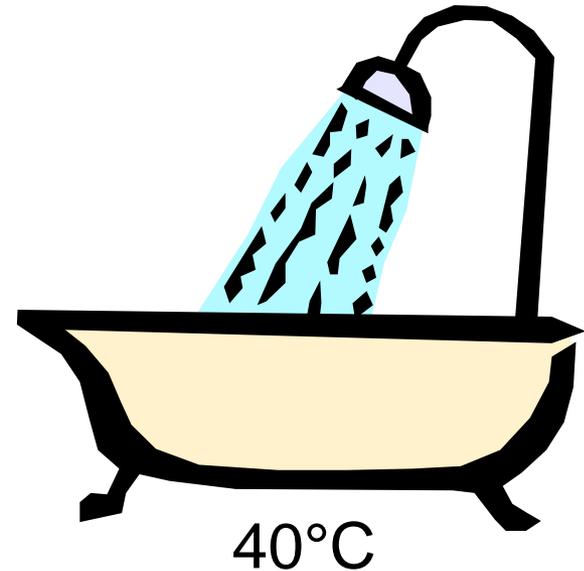
Perubahan Energi dalam Reaksi Kimia

Kalor adalah perpindahan **energi termal** antara dua benda yang suhunya berbeda.

Suhu adalah ukuran **energi termal**



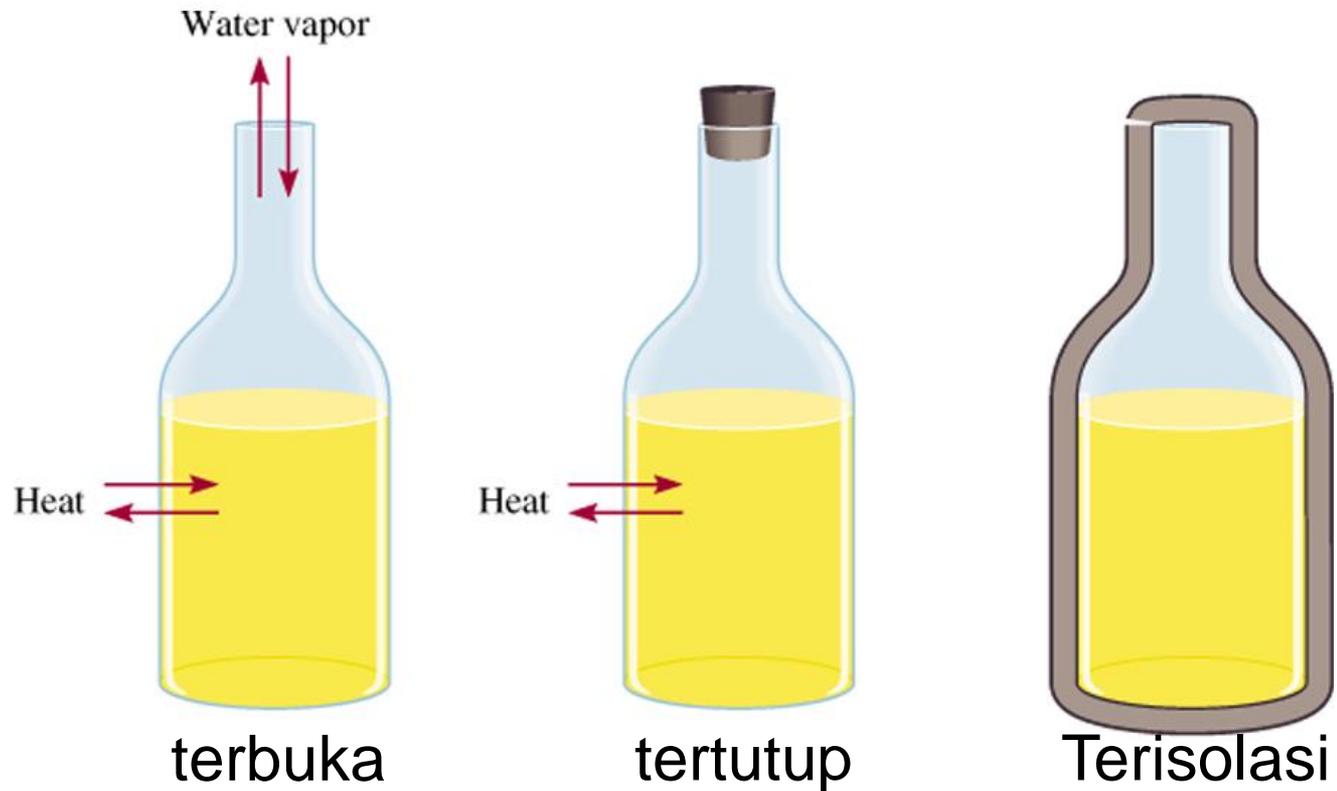
Suhu ~~X~~ Energi termal



energi termal lebih besar

Termokimia adalah studi tentang perubahan panas dalam reaksi kimia.

Sistem adalah bagian spesifik dari alam **semesta** yang menjadi perhatian kajian.

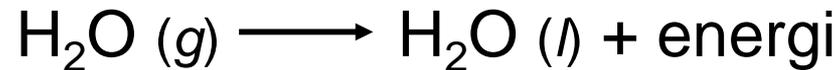


Menunjukkan: massa & energi

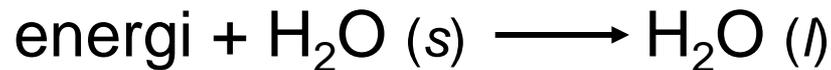
energi

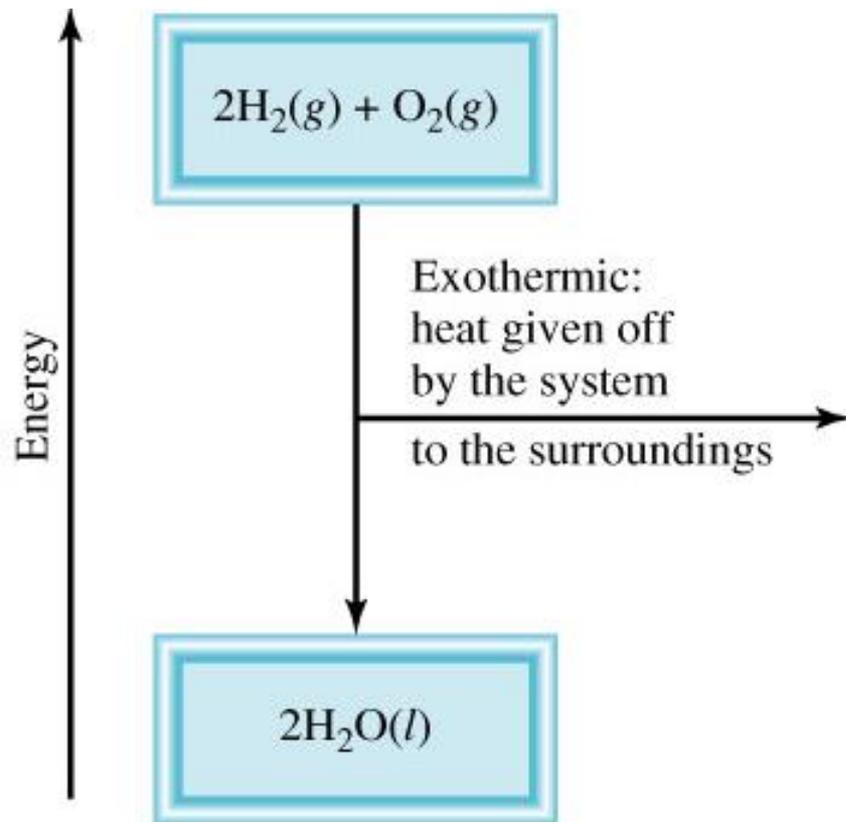
tidak ada

Proses eksoterm adalah setiap proses yang mengeluarkan panas – mentransfer energi termal dari sistem ke lingkungan.

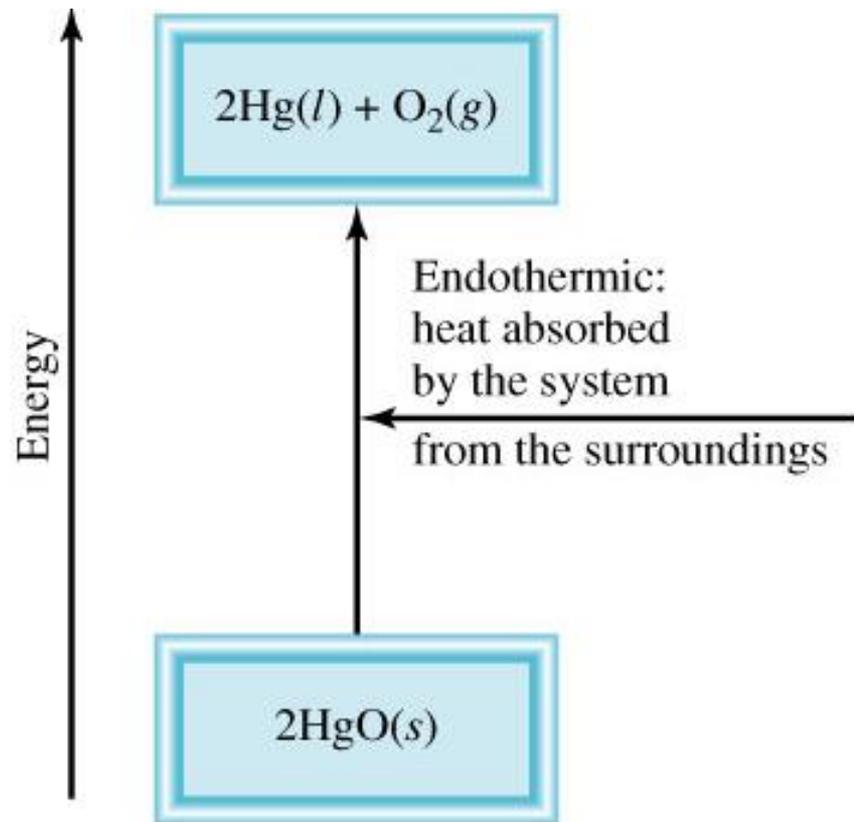


Proses endoterm adalah setiap proses di mana panas harus disuplai ke sistem dari lingkungan.





Eksoterm

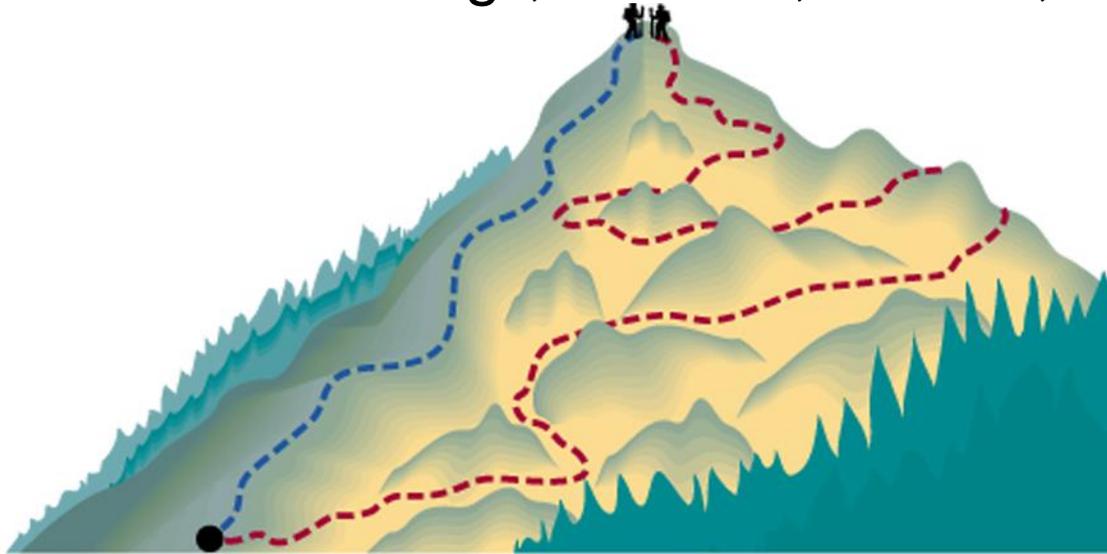


Endoterm

Termodinamika adalah studi ilmiah tentang interkonversi panas/perubahan antar kalor dan jenis-jenis energi lainnya.

Fungsi keadaan adalah sifat-sifat yang ditentukan oleh keadaan sistem, tanpa memperhatikan bagaimana kondisi tersebut dicapai.

energi , tekanan, volume, suhu



$$\Delta E = E_{akhir} - E_{awal}$$

$$\Delta P = P_{akhir} - P_{awal}$$

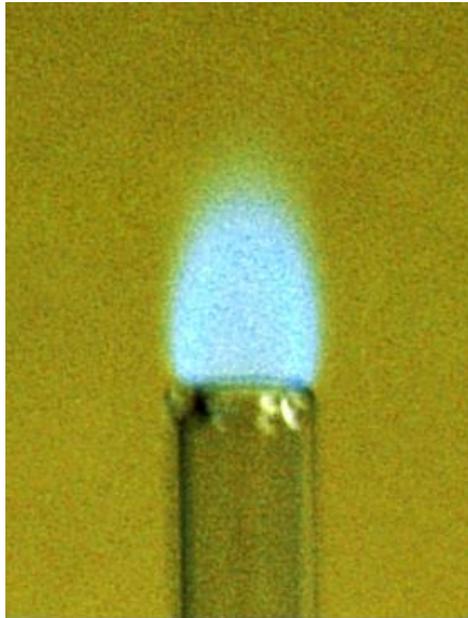
$$\Delta V = V_{akhir} - V_{awal}$$

$$\Delta T = T_{akhir} - T_{awal}$$

Energi potensial **pendaki 1** dan **pendaki 2** sama meskipun menempuh jalur yang berbeda.



Hukum pertama termodinamika – energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan.

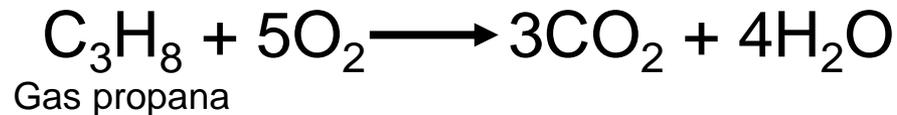


Pembakaran gas

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

atau

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



Reaksi kimia eksoterm!

Energi kimia **yang hilang** akibat pembakaran = Energi **yang diperoleh** lingkungan
sistem lingkungan

Bentuk Lain dari **hukum pertama** untuk ΔE_{sistem}

$$\Delta E = q + w$$

ΔE adalah perubahan energi dalam suatu sistem

q adalah pertukaran panas antara sistem dan lingkungan

w adalah usaha yang dilakukan pada (atau oleh) sistem

$w = -P\Delta V$ ketika suatu gas memuai melawan tekanan eksternal yang konstan

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 pada Sistem

$$w = F \times d$$

$$w = -P \Delta V$$

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

$$\Delta V > 0$$

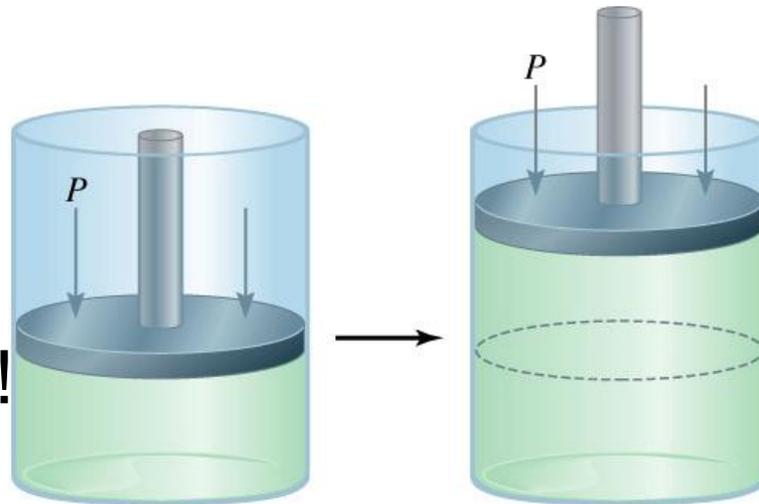
$$-P\Delta V < 0$$

$$W_{\text{sys}} < 0$$



Kerja bukan fungsi keadaan!

$$\Delta W \neq W_{\text{akhir}} - W_{\text{awal}}$$



awal

akhir





Suatu sampel gas nitrogen memuai volumenya dari 1,6 L menjadi 5,4 L pada suhu konstan. Berapa kerja yang dilakukan dalam joule jika gas memuai (a) melawan ruang hampa dan (b) melawan tekanan konstan 3,7 atm?

$$w = -P \Delta V$$

(a) $\Delta V = 5,4 \text{ L} - 1,6 \text{ L} = 3,8 \text{ L}$ $P = 0 \text{ atm}$

$$W = -0 \text{ atm} \times 3,8 \text{ L} = 0 \text{ L}\cdot\text{atm} = 0 \text{ joules}$$

(b) $\Delta V = 5,4 \text{ L} - 1,6 \text{ L} = 3,8 \text{ L}$ $P = 3,7 \text{ atm}$

$$w = -3,7 \text{ atm} \times 3,8 \text{ L} = -14,1 \text{ L}\cdot\text{atm}$$

$$w = -14,1 \text{ L}\cdot\text{atm} \times \frac{101,3 \text{ J}}{1 \text{ L}\cdot\text{atm}} = -1430 \text{ J}$$

Kimia “*in Action*”: Membuat Salju

Jika Anda gemar bermain ski menuruni bukit, Anda mungkin pernah bermain ski di salju buatan. Bagaimana barang ini dibuat dalam jumlah yang cukup besar memenuhi kebutuhan pemain ski pada hari-hari tanpa salju? Rahasia pembuatan salju ada pada persamaan:

$$\Delta E = q + w$$

Mesin pembuat salju mengandung campuran udara terkompresi dan uap air sekitar 20 atm. Karena perbedaan tekanan yang besar antara tangki dan atmosfer luar, saat campuran disemprotkan ke dalamnya, atmosfer mengembang begitu cepat sehingga, dapat diperkirakan tidak terjadi pertukaran panas antara sistem (udara dan air) dan sekitarnya, yaitu:

$$q = 0$$

Dalam termodinamika, proses seperti ini disebut proses adiabatik. Jadi, dituliskan sbb.:

$$w < 0, \Delta E < 0$$



Kimia “*in Action*” : Membuat Salju

Karena sistem melakukan kerja terhadap lingkungan, w bernilai negatif, dan terjadi penurunan energi sistem. Energi kinetik merupakan bagian dari energi total sistem.

Pada Bab 5 tentang gas, bagian 5.7 kita melihat bahwa energi kinetik rata-rata suatu gas berbanding lurus dengan suhu absolut [Persamaan (5.15)]. Oleh karena itu, perubahan energi ΔE diberikan oleh:

$$\Delta E = C\Delta T$$

di mana C adalah konstanta proporsionalitas. Karena ΔE negatif, ΔT juga harus negatif, dan inilah efek pendinginannya (atau efeknya penurunan energi kinetik molekul air) yang bertanggung jawab atas pembentukan salju.

$$\Delta T < 0, \text{ SALJU!}$$

Meskipun kita hanya perlu air membentuk salju, adanya udara yang juga mendingin pada ekspansi, membantu menurunkan suhu uap air.



Kimia “*in Action*” : Membuat Salju

$$\Delta E = q + w$$

$$q = 0$$

$$w < 0, \Delta E < 0$$

$$\Delta E = C\Delta T$$

$$\Delta T < 0, \text{SALJU!}$$



Entalpi dan Hukum Pertama Termodinamika

$$\Delta E = q + w$$

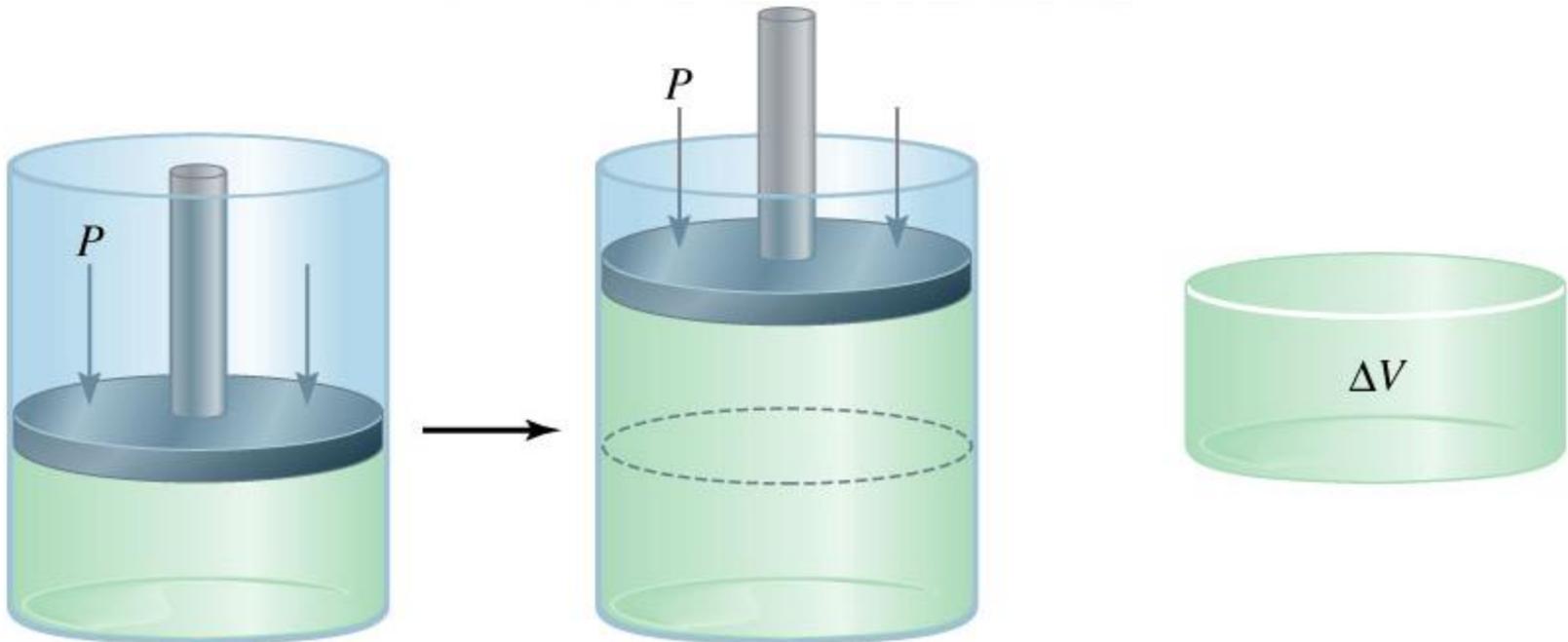


Pada tekanan konstan:

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

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

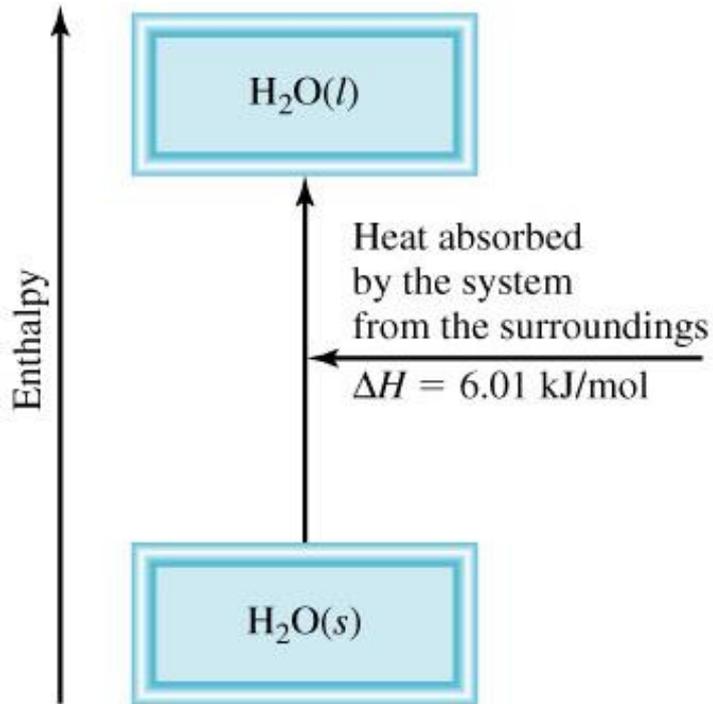
$$\Delta H = \Delta E + P\Delta V$$



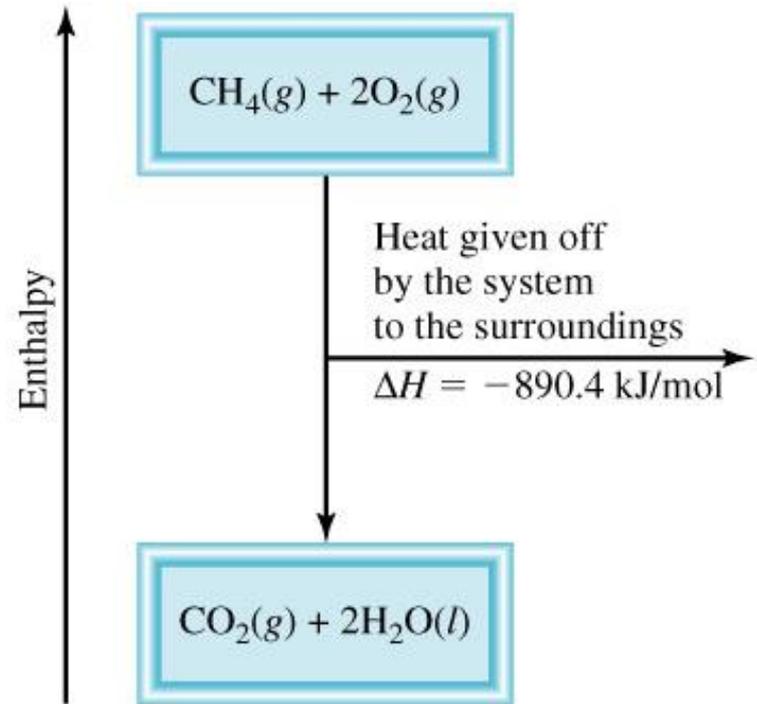
Entalpi (H) digunakan untuk mengukur aliran panas masuk atau keluar sistem dalam proses yang terjadi pada tekanan konstan.

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

ΔH = panas yang dilepaskan atau diserap selama reaksi **pada tekanan konstan**

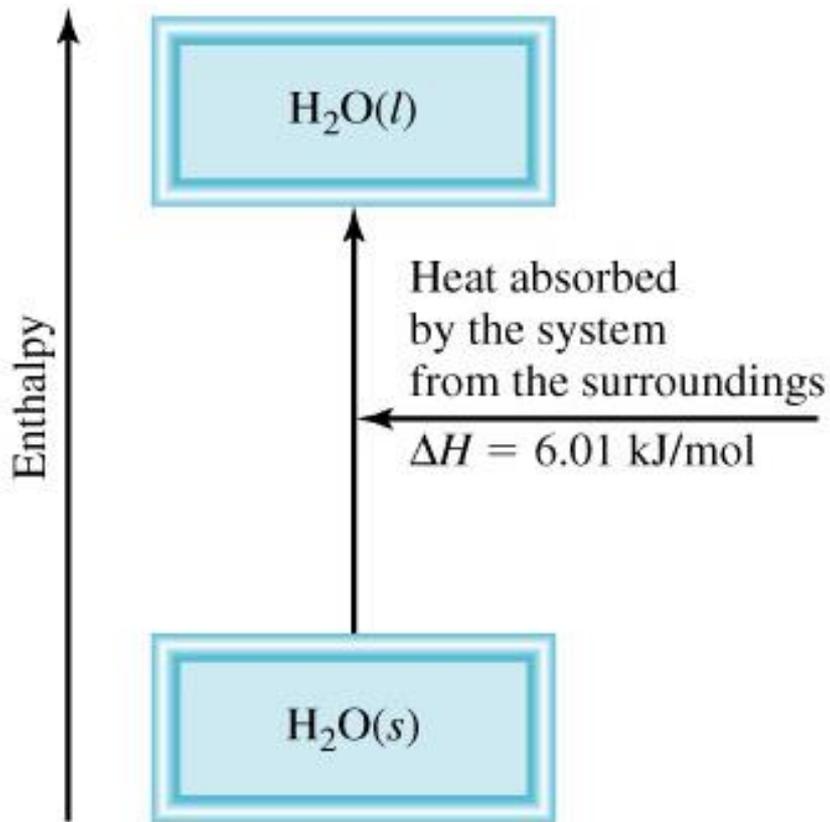


$$H_{\text{produk}} > H_{\text{reaktan}}$$
$$\Delta H > 0$$



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

Persamaan Termokimia



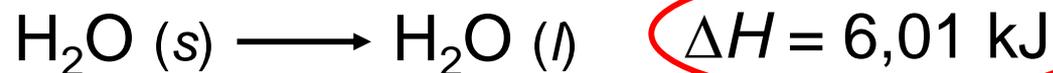
Apakah ΔH negatif atau positif?

Sistem menyerap panas

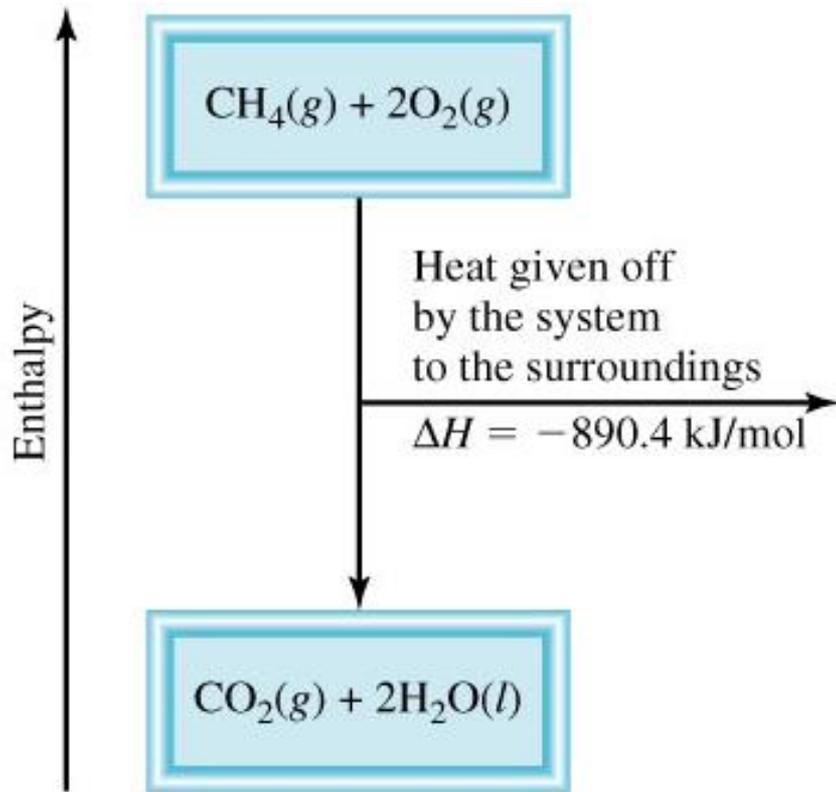
Endoterm

$\Delta H > 0$

6,01 kJ diserap untuk setiap 1 mol es yang mencair pada 0°C dan 1 atm.



Persamaan Termokimia



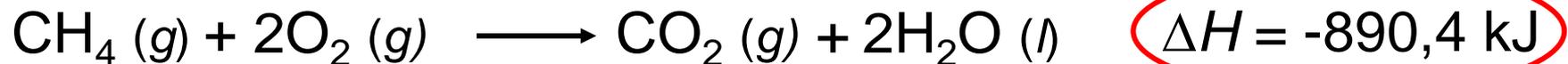
Apakah ΔH negatif atau positif?

Sistem mengeluarkan panas

Eksoterm

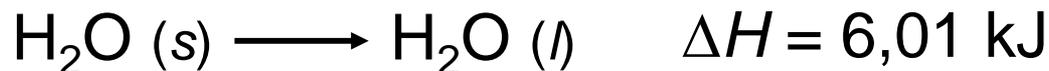
$\Delta H < 0$

890,4 kJ dilepaskan untuk setiap 1 mol metana yang dibakar pada 25°C dan 1 atm.



Persamaan Termokimia

- Koefisien stoikiometri selalu mengacu pada jumlah mol suatu zat



- Jika suatu reaksi dibalik, tanda ΔH berubah



- Jika kedua ruas persamaan dikalikan dengan faktor n , maka ΔH harus diubah dengan faktor n yang sama.



Persamaan Termokimia

- Keadaan fisik semua reaktan dan produk harus dinyatakan dalam persamaan termokimia.

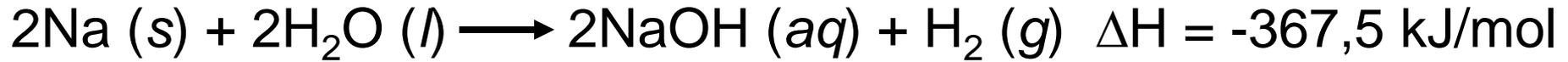


Berapa kalor yang dilepaskan ketika 266 g fosfor putih (P_4) terbakar di udara?



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

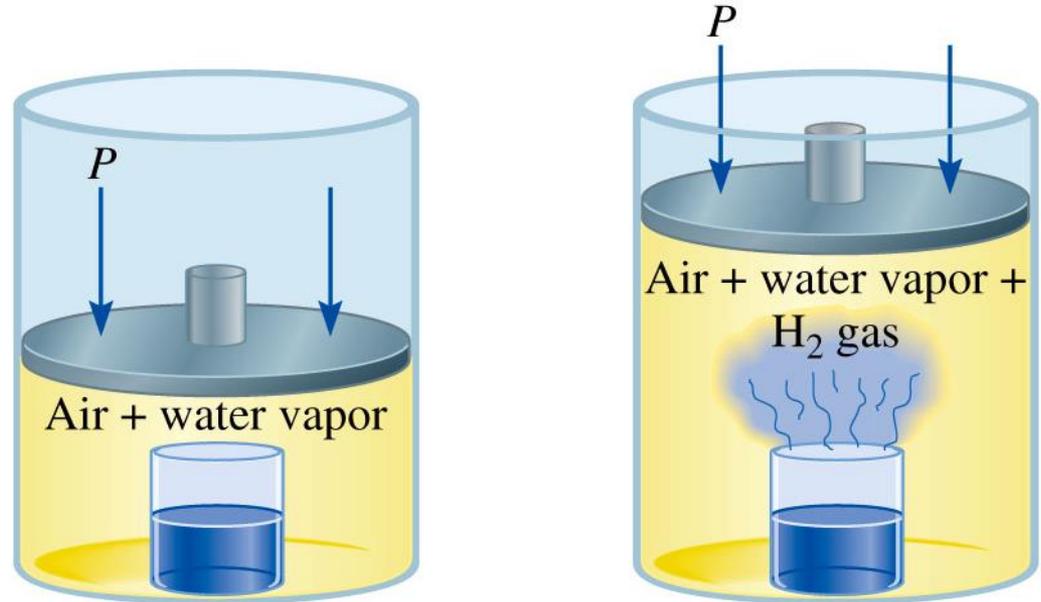
Perbandingan ΔH dan ΔE



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

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

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



Kalor jenis/specific heat (s) suatu zat adalah jumlah kalor (q) yang diperlukan untuk menaikkan suhu **satu gram** zat sebesar **satu derajat** Celcius.

Kapasitas kalor/heat capacity (C) suatu zat adalah jumlah kalor (q) yang diperlukan untuk menaikkan suhu **sejumlah tertentu (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 ₂ O	4.184
C ₂ H ₅ OH (ethanol)	2.46

$$C = m \times s$$

Kalor (q) yang diserap atau dilepaskan:

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

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

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



Berapa kalor yang dilepaskan ketika batang besi bermassa 869 g mendingin dari 94°C menjadi 5°C?

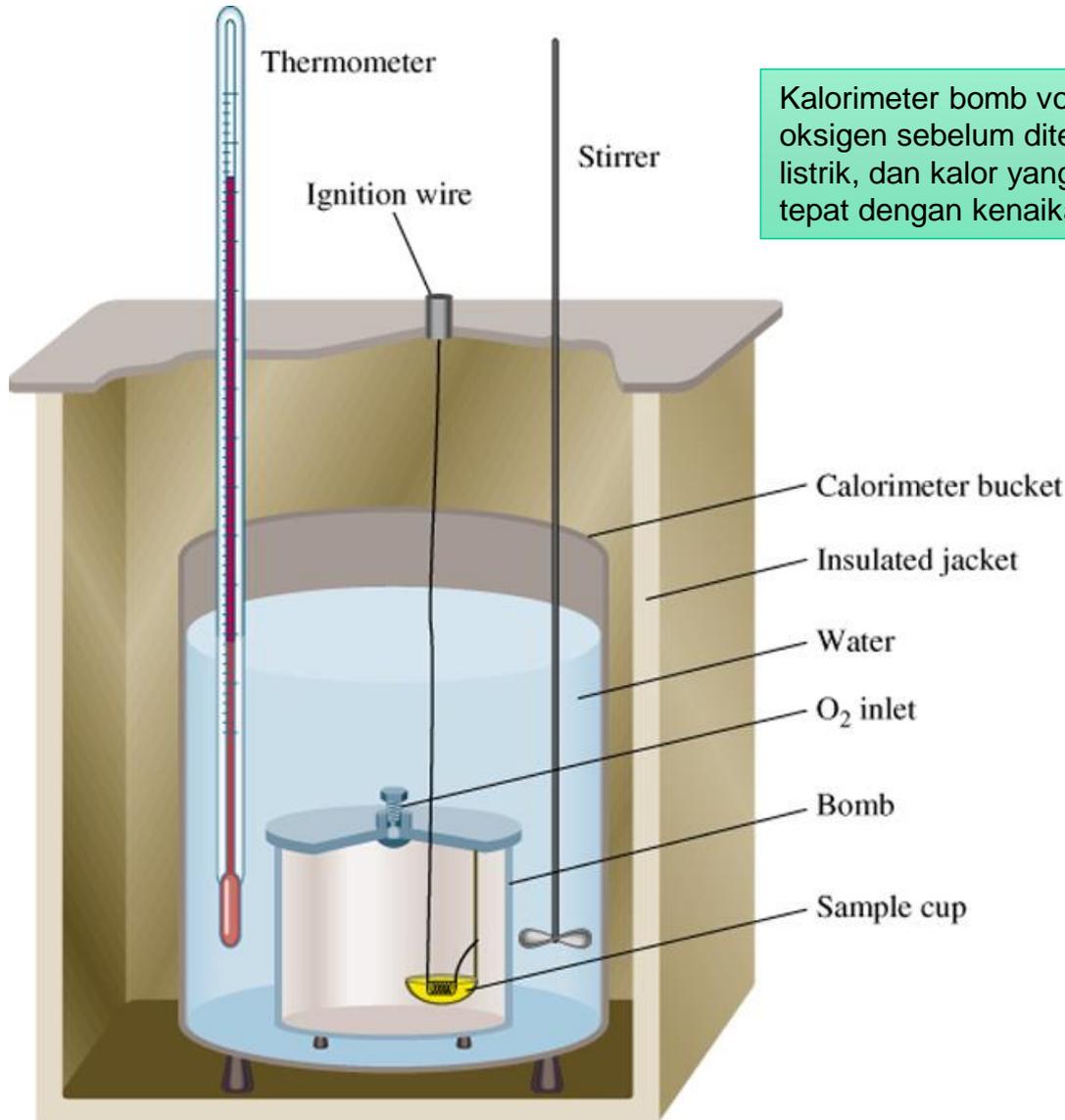
$$s_{\text{Fe}} = 0,444 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

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

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



Kalorimetri Volume-Konstan



Kalorimeter bomb volume-konstan. Kalorimeter diisi dengan gas oksigen sebelum ditempatkan dalam tabung. Sampel dihubungkan ke listrik, dan kalor yang dihasilkan oleh reaksi dapat ditentukan secara tepat dengan kenaikan suhu air di sekitarnya yang jumlahnya diketahui.

$$q_{\text{sis}} = q_{\text{udara}} + q_{\text{bomb}} + q_{\text{rxn}}$$

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

$$q_{\text{rxn}} = - (q_{\text{udara}} + q_{\text{bomb}})$$

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

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

Reaksi pada V konstan

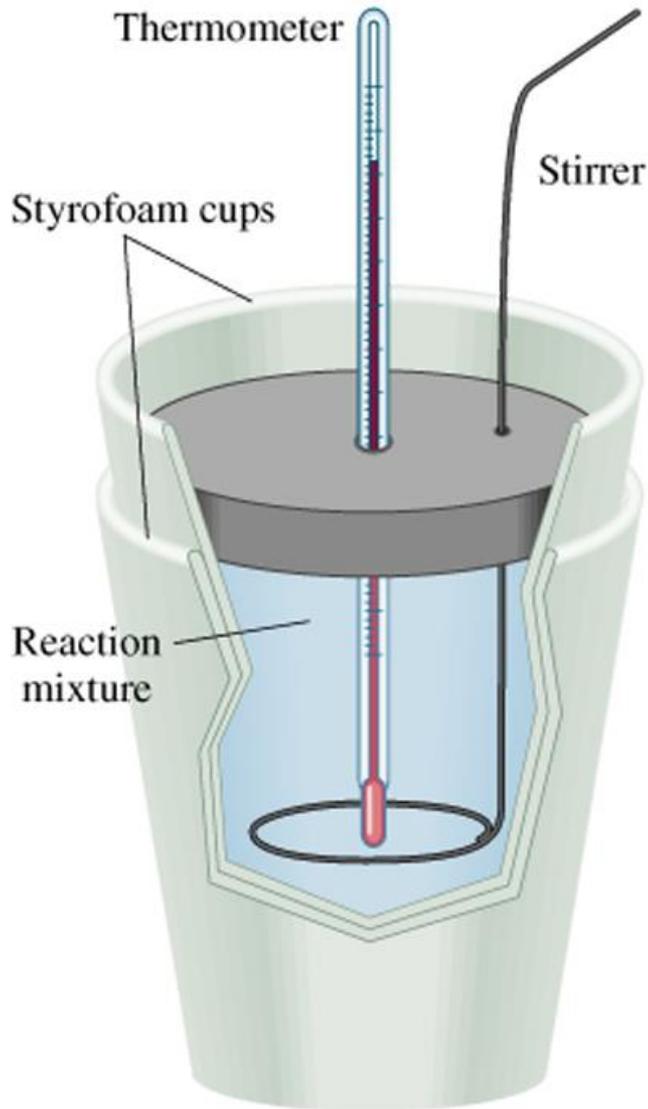
$$\Delta H \neq q_{\text{rxn}}$$

$$\Delta H \sim q_{\text{rxn}}$$

Tidak ada panas yang masuk atau keluar!

Ket.: rxn = reaksi

Kalorimetri Tekanan-Konstan



Kalorimeter tekanan-konstan yang terbuat dari dua cangkir kopi Styrofoam. Cangkir luar membantu menyekat campuran reaksi dari lingkungan. Dua macam larutan yang diketahui volumenya yang mengandung reaktan pada suhu yang sama dicampurkan secara hati-hati dalam kalorimeter. Kalor yang dihasilkan atau diserap oleh reaksi dapat ditentukan dengan mengukur perubahan suhu.

$$q_{\text{sis}} = q_{\text{udara}} + q_{\text{kal}} + q_{\text{rxn}}$$

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

$$q_{\text{rxn}} = - (q_{\text{udara}} + q_{\text{kal}})$$

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

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

Reaksi pada P konstan

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

Ket.: rxn = reaksi

Tidak ada panas yang masuk atau keluar!

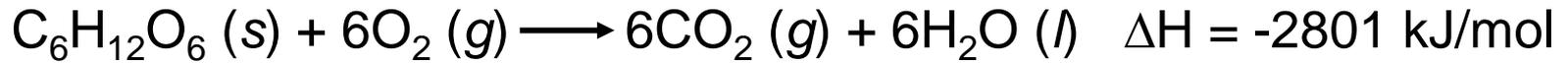
TABLE 6.3**Heats of Some Typical Reactions Measured at Constant Pressure**

Type of Reaction	Example	ΔH (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.

Kimia “in Action” :

Nilai Bahan Bakar Makanan dan Zat Lainnya



1 kal = 4,184 J

1 Kal = 1000 kal = 4184 J

Zat	$\Delta H_{\text{Pembakaran}}$ (kJ/g)
Apel	-2
Daging sapi	-8
Bir	-1.5
Bensin	-34

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



Karena tidak ada cara untuk mengukur nilai absolut entalpi suatu zat, haruskah saya mengukur perubahan entalpi untuk setiap reaksi yang diinginkan?

Tetapkan skala sembarang dengan **entalpi pembentukan standar** (ΔH_f^0) sebagai titik acuan untuk semua ekspresi entalpi.

Entalpi pembentukan standar (ΔH_f^0) adalah perubahan kalor yang dihasilkan ketika **satu mol** suatu senyawa terbentuk dari **unsur-unsurnya** pada tekanan 1 atm.

Entalpi pembentukan standar suatu unsur dalam bentuk paling stabilnya adalah nol.

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

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

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

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

TABLE 6.4

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

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

Entalpi reaksi standar (ΔH_{rxn}^0) adalah entalpi reaksi yang berlangsung pada 1 atm.

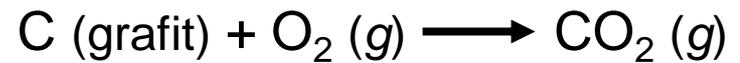
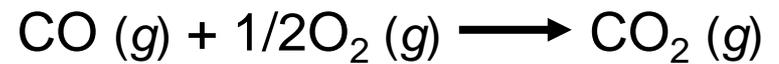
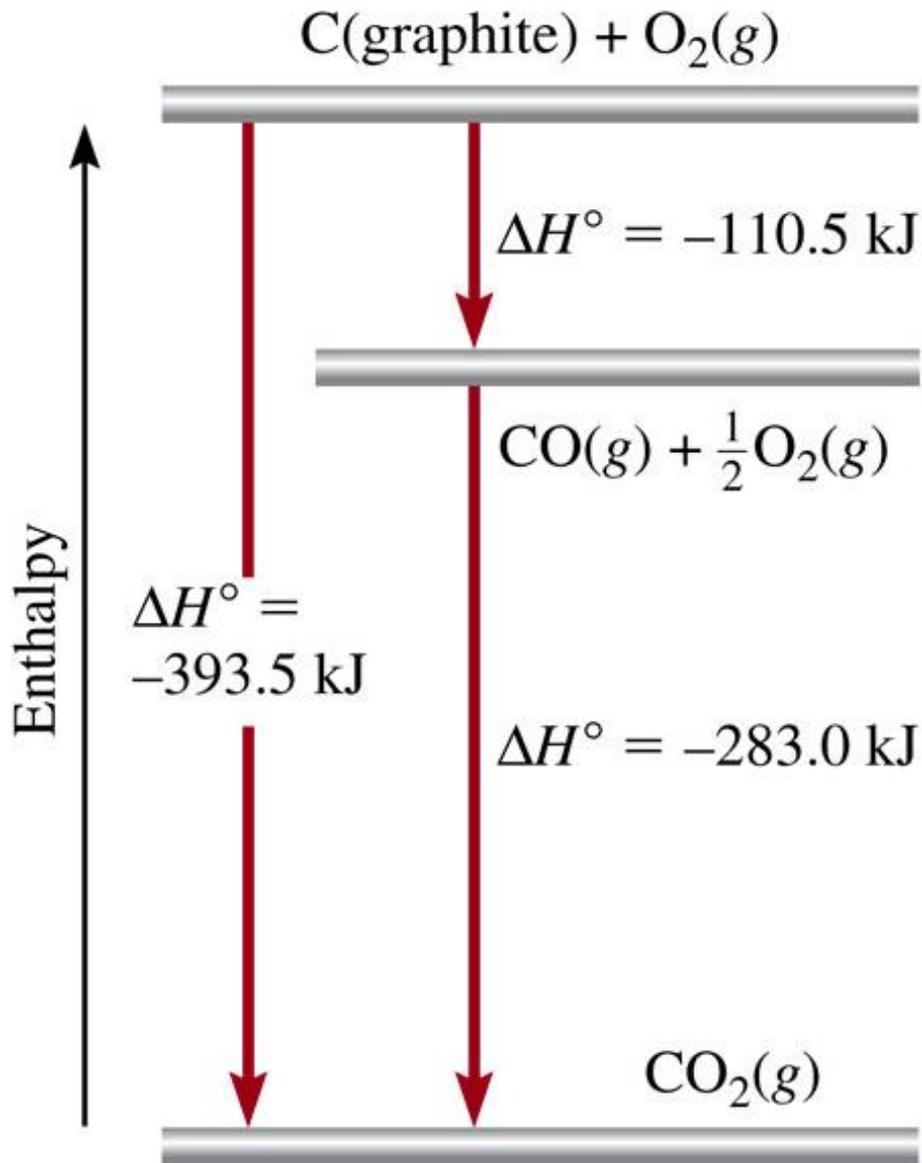


$$\Delta H_{\text{rxn}}^0 = [c\Delta H_{\text{f}}^0 (\text{C}) + d\Delta H_{\text{f}}^0 (\text{D})] - [a\Delta H_{\text{f}}^0 (\text{A}) + b\Delta H_{\text{f}}^0 (\text{B})]$$

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

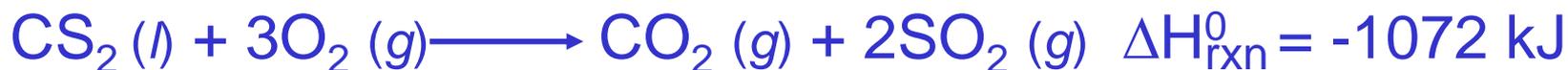
Hukum Hess: Ketika reaktan diubah menjadi produk, perubahan entalpinya tetap sama, baik reaksi berlangsung dalam satu langkah atau serangkaian langkah.

(Entalpi adalah fungsi keadaan. Tidak masalah bagaimana Anda mencapainya, yang penting hanyalah di mana Anda memulai dan mengakhirinya.)





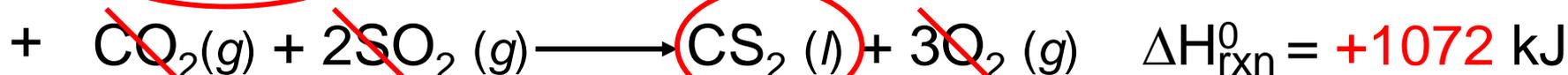
Hitung entalpi pembentukan standar $\text{CS}_2(l)$ dengan diketahui:



1. Tuliskan entalpi reaksi pembentukan CS_2



2. Jumlahkan reaksi-reaksi yang diberikan sehingga hasilnya adalah reaksi yang diinginkan.



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



Benzena (C_6H_6) terbakar di udara menghasilkan karbon dioksida dan air. Berapa banyak panas yang dilepaskan per mol benzena yang terbakar? Entalpi pembentukan standar benzena adalah 49,04 kJ/mol.



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

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

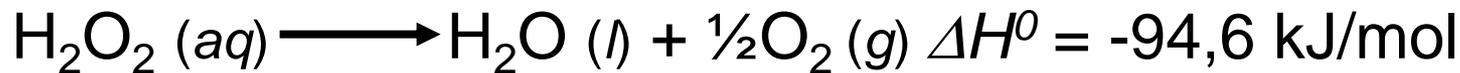
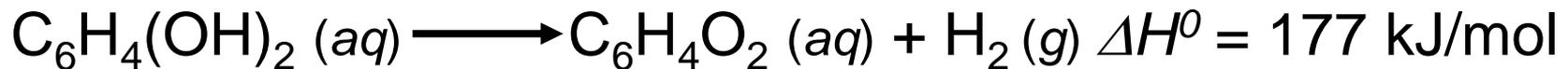
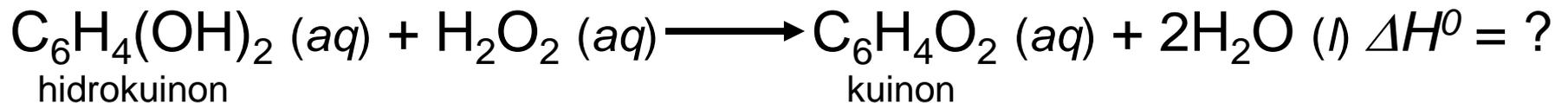
$$\Delta H_{rxn}^0 = [12 \times -393,5 + 6 \times -285,8] - [2 \times 49,04] = -6535 \text{ kJ}$$

$$\frac{-6535 \text{ kJ}}{2 \text{ mol}} = -3268 \text{ kJ/mol } C_6H_6$$

Jadi, panas yang dilepaskan per mol benzena yang terbakar adalah sebesar 3268 kJ.

Kimia “*in Action*” : Pertahanan Kumbang Pengebom

- Kumbang pengebom (*Brachinus*) mengusir predator dengan “semprotan kimia”.
- Kumbang pengebom mempunyai sepasang kelenjar di ujung perutnya. Setiap kelenjar terdiri dari dua kompartemen. Bagian dalam kompartemen berisi larutan hidrokuinon dan hidrogen peroksida, dan kompartemen luar menampung campuran enzim (enzim adalah molekul biologis yang dapat mempercepat menimbulkan reaksi).
- Saat terancam, kumbang memeras cairan dari kompartemen dalam ke kompartemen luar, di mana, dengan adanya enzim, terjadi reaksi eksotermik:



$$\Delta H^0 = 177 - 94,6 - 286 = -204 \text{ kJ/mol}$$

Eksoterm!



Entalpi pelarutan (ΔH_{soln}) adalah panas yang dihasilkan atau diserap ketika sejumlah zat terlarut dilarutkan dalam sejumlah pelarut tertentu.

$$\Delta H_{\text{soln}} = H_{\text{soln}} - H_{\text{komponen}}$$

Ket.: soln = pelarutan

TABLE 6.5

**Heats of Solution of
Some Ionic Compounds**

Compound	ΔH_{soln} (kJ/mol)
LiCl	-37.1
CaCl ₂	-82.8
NaCl	4.0
KCl	17.2
NH ₄ Cl	15.2
NH ₄ NO ₃	26.2

Bahan apa saja yang dapat digunakan untuk mencairkan es?

Bahan apa yang dapat digunakan untuk kompres dingin?

Proses Pelarutan NaCl

Gambar Proses Pelarutan NaCl.

Proses ini dapat dianggap terjadi dalam dua langkah terpisah:

- (1) pemisahan ion-ion dari wujud kristal ke wujud gas dan
- (2) hidrasi ion-ion gas.

Panas larutan sama dengan perubahan energi untuk dua langkah ini, yaitu: $\Delta H_{\text{soln}} = U + \Delta H_{\text{hydr}}$

$$\Delta H_{\text{soln}} = U + \Delta H_{\text{hydr}}$$

