

ENERGETIKA KIMIA

By Siti Patonah, M. Pd

ENERGETIKA KIMIA

Ilmu yang mempelajari perubahan energy yang terjadi dalam proses atau reaksi

Berhubungan erat dengan energi dan transfer energi

Sistem Tersekat

Tidak terjadi pertukaran materi maupun energi

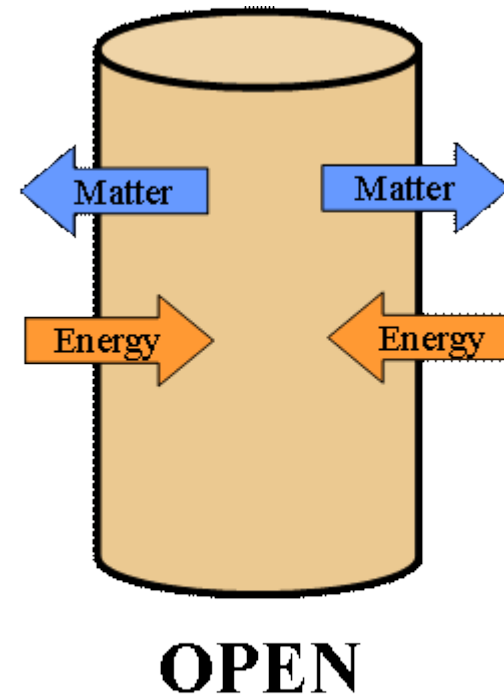
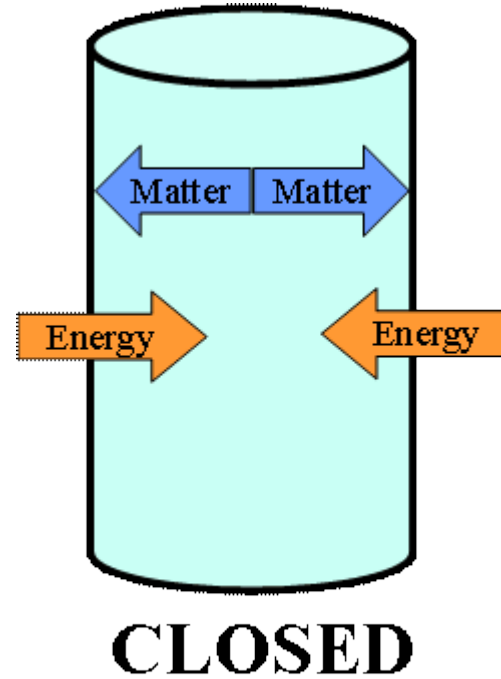
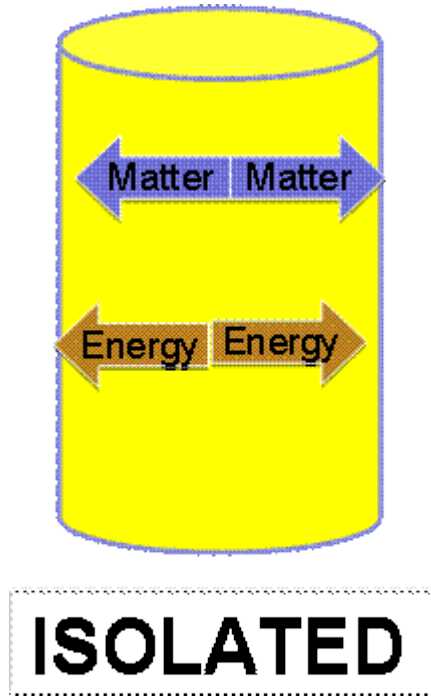
Sistem Tertutup

Terjadi pertukaran energy, tidak terjadi pertukaran materi

Sistem Terbuka

Terjadi pertukaran materi dan energi

Diskripsi sistem dan lingkungan



TERMODINAMIKA

MEMPELAJARI PERUBAHAN-PERUBAHAN DALAM KEADAAN SISTEM
(State System)

Nilai-nilai semua sifat makroskopis yang relevan seperti
susunan, materi, energy, suhu, tekanan dan volume.

Sifat-sifat yang ditentukan
oleh keadaan system, terlepas
dari bagaimana keadaan
tersebut dicapai

Fungsi
Keadaan (state
function)

Energi, tekanan,
volume dan suhu

Ada berapa joule tekanan udara 1 atm?

- Tekanan udara 1 atm adalah gaya raksa setinggi 76cm persatuan luas.
- Kerapatan raksa adalah $13,5951 \text{ kgm}^{-3}$, maka:

$$\begin{aligned}w &= \text{atm.liter} \\&= (0,76\text{m})(13,5951 \text{ kgm}^{-3})(9,8066\text{ms}^{-2})\text{m}^3 \\&= 101,325 \text{ kg ms}^{-2}\text{m}^{-2}.\text{m}^3 \\&= 101,325 \text{ Nm}^{-2}\text{m}^3 \\&= 101,325 \text{ Nm} \\&= 101,325 \text{ J}\end{aligned}$$

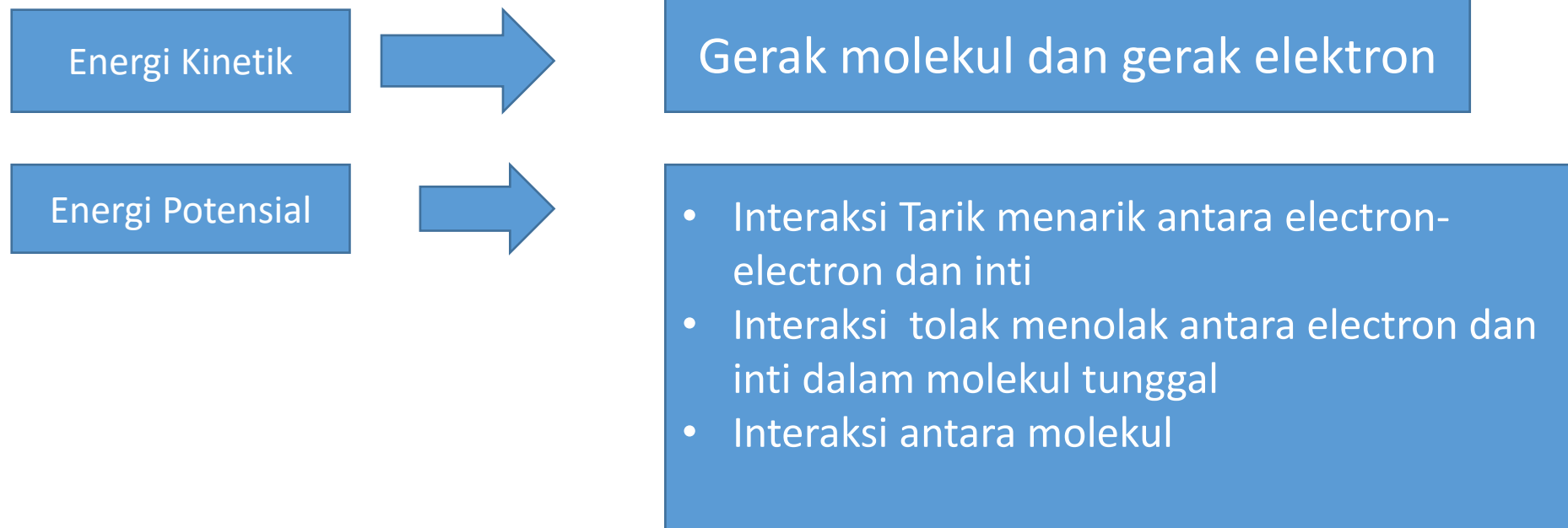
$$\therefore 1 \text{ L atm} = 101,325 \text{ J}$$

Hukum I Termodinamika

- Jika satu system mengalami serangkaian perubahan yang tidak terbatas kembali ke keadaan semula, maka total perubahan energi adalah nol
- Energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan
- Jika system melakukan kerja, maka energinya turun.

$$\Delta E = E_f - E_i$$

- E_f dan E_i adalah energy system pada keadaan awal dan keadaan akhir
- Energi dalam suatu system → energi kinetik dan energi potensial



$$\Delta E_{\text{sis}} + \Delta E_{\text{ling}} = 0$$

$$\Delta E_{\text{sis}} = -\Delta E_{\text{ling}}$$

$$\Delta E = q + w$$

Kesepakatan Tanda untuk Kerja dan Kalor

Proses	Tanda
Kerja dilakukan oleh system pada lingkungan	-
Kerja dilakukan pada system oleh lingkungan	+
Kalor diserap oleh system dari lingkungan (proses endotermik)	+
Kalor diserap oleh lingkungan dari system (proses eksotermik)	-

Kerja dan Kalor

- Kerja didefinisikan sebagai gaya F dikalikan dengan jarak d .

$$w = Fd$$

- Dalam termodinamika, kerja mempunyai arti yang lebih luas (mekanis, kerja listrik)
- Dibatasi pada kerja mekanis

$$w = -P\Delta V$$

Contoh soal

- Suatu gas memuai dari volume 2,0 L menjadi 6,0L pada tekanan konstan. Hitunglah kerja yang dilakukan oleh gas jika gas itu memuai
 - a. Terhadap ruang hampa
 - b. Terhadap tekanan konstan 1,2 atm

Penyelesaian

- Karena tekanan luarnya nol, kerja w yang dilakukan:

$$\begin{aligned}w &= -P\Delta V \\ &= -0(6,0-2,0)\text{L} \\ &= 0\end{aligned}$$

- Tekanan luarnya 1,2 atm, jadi:

$$\begin{aligned}w &= -P\Delta V \\ &= -(1,2)(4\text{L}) = -4,8\text{L atm}\end{aligned}$$

Konversi ke Joule, dikalikan dengan $101,3 \text{ JL}^{-1}\text{atm}^{-1} \rightarrow -4,9 \times 10^2 \text{ J}$

Latihan tambahan

- Suatu gas memuai dari 264 mL menjadi 971 mL, pada suhu konstan.
Hitunglah kerja yang dilakukan dalam joule, oleh gas itu jika memuai :
 - a. Terhadap ruang hampa udara
 - b. Terhadap tekanan tetap 4 atm

Kalor

- Komponen lain energy dalam adalah q, kalor
- Kalor bukan fungsi keadaan

$$\Delta E = q + w$$

Latihan soal

- Kerja yang dilakukan pada suatu gas dimampatkan dalam tabung adalah 426J. Selama proses ini, terdapat perpindahan kalor sebesar 128J dari gas ke lingkungan. Hitunglah perubahan energy untuk proses ini!
- Penyelesaian
- Pemampatan dalah kerja yang dilakukan pada gas, jadi tanda w +. Dari arah perpindahan kalor (system ke lingkungan), \rightarrow q negative

$$\begin{aligned}\Delta E &= q+w \\ &= -128 \text{ J} + 426 \text{ J} \\ &= 334 \text{ J}\end{aligned}$$

Sebagai hasil pemampatan dan perpindahan kalor, energi gas meningkat 334J

ENTALPI REAKSI KIMIA

- Jika reaksi kimia berjalan pada volume konstan, maka $\Delta V = 0$ dan tidak ada kerja yang dihasilkan dari perubahan ini

$$\begin{aligned}\Delta E &= q - P\Delta V \\ &= q_v\end{aligned}$$

Untuk tekanan konstan

$$\begin{aligned}\Delta E &= q + w \\ &= q_p - P\Delta V \\ q_p &= \Delta E + P\Delta V\end{aligned}$$

Entalpi

- Fungsi keadaan, bergantung pada keadaan awal dan keadaan akhir

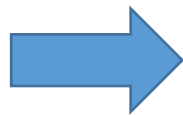
$$H = E + PV$$

- Untuk setiap proses, perubahan entalpi menurut persamaan adalah sebagai berikut:

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

- Untuk tekanan konstan

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



$$q_p = \Delta H$$

Ingat Kembali

$$q_p = \Delta H$$

$$q_V = \Delta E$$

- ENTALPI REAKSI
- Sebagian besar reaksi merupakan tekanan konstan
- Pertukaran kalor disamakan dengan perubahan entalpi:
- Reaktan \rightarrow Produk
- Perubahan entalpi merupakan selisih antara entalpi produk dan entalpi reaktan

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

Aturan main

- ΔH +, jika endotermik (kalor diserap oleh sistem dari lingkungan)
- ΔH -, jika eksotermik (kalor dilepaskan oleh system ke lingkungan)
- Untuk menghitung perubahan energy dalam dari reaksi gas adalah dengan mengasumsikan perilaku gas ideal dan suhu tetap.

$$\begin{aligned}\Delta E &= \Delta H - \Delta(PV) \\ &= \Delta H - \Delta(nRT) \\ &= \Delta H - RT\Delta n\end{aligned}$$

- Δn = jumlah mol gas produk-jumlah mol gas reaktan

Hitunglah perubahan energy dalam ketika 2 mol CO diubah menjadi 2 mol CO₂ pada tekanan 1 atm dan suhu 25⁰C:



Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\Delta n &= 2 \text{ mol} - 3 \text{ mol} \\ &= -1 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta E &= \Delta H - RT\Delta n \\ &= -566,0 \text{ kJ} - (8,314\text{J/K.mol})(298\text{K})(-1\text{mol}) \\ &= -563,5 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor

- Kalor Jenis (specific heat), s , suatu zat adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu satu gram zat sebesar satu derajat Celsius.....sifat intensif... $\text{J/g}^{\circ}\text{C}$
- Kapasitas Kalor (Heat capacity) C , jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu sejumlah zat sebesar satu derajat Celcius....sifat ekstensif..... $\text{J}/^{\circ}\text{C}$
- Hubungan antara kapasitas kalor dan kalor jenis suatu zat adalah

$$C = ms$$

- Jika kita mengetahui kalor jenis dan jumlah suatu zat, maka jumlah kalor (q) yang telah diserap atau dilepaskan pada suatu proses dapat diketahui berdasarkan perubahan suhu sample (Δt)

$$q = ms\Delta t$$

$$q = C\Delta t$$

Suatu sampel 466 g air dipanaskan dari 8,50⁰C ke 74,60⁰C.
Hitunglah jumlah kalor yang diserap oleh air! Kalor jenis air = 4,184 J/g⁰C

Penyelesaian

$$\begin{aligned} q &= ms\Delta t \\ &= (466 \text{ g})(4,184 \text{ J/g}^{\circ}\text{C})(74,60^{\circ}\text{C}-8,5^{\circ}\text{C}) \\ &= 1,29 \times 10^5 \text{ J} \\ &= 129 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Untuk latihan....

Sebatang besi dengan mass 869g didinginkan dari 94⁰C ke 5⁰C.
Hitunglah kalor yang dilepaskan (dalam kilojoule) oleh logam itu. Kalor jenis besi = 0,444 J/g⁰C

TERMOKIMIA

- Penerapan hukum pertama termodinamika dalam reaksi kimia
- Reaksi kimia merupakan reaksi isothermal.

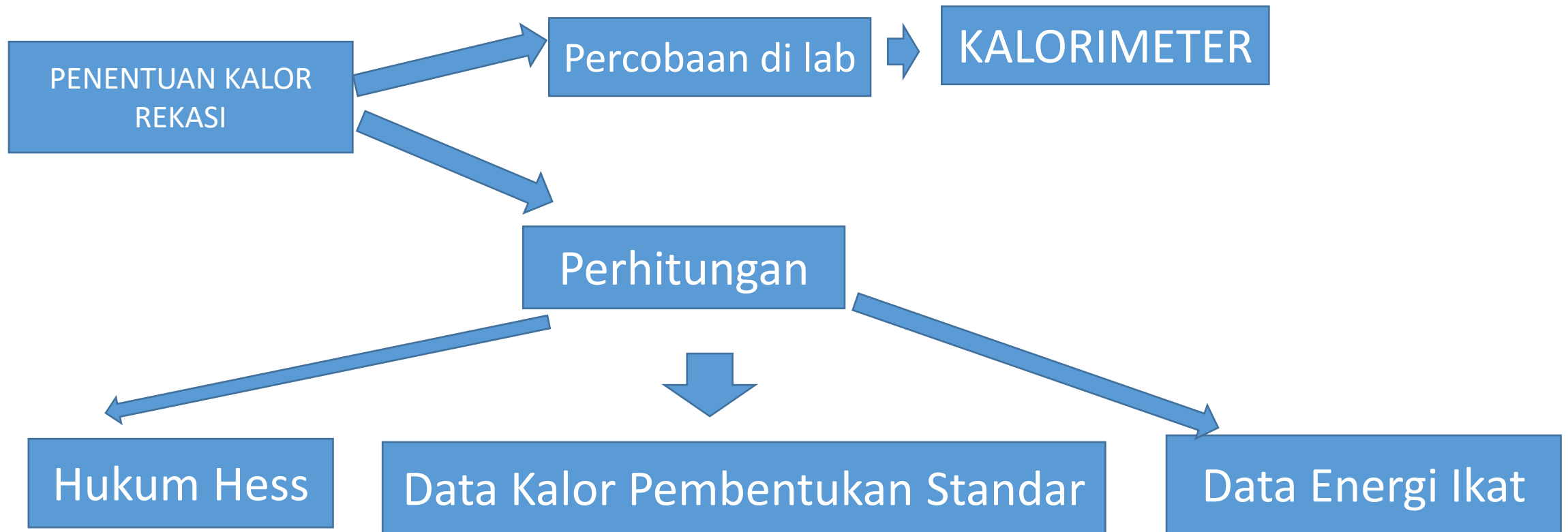
$$q_p = \Delta H = H_{\text{hasil reaksi}} - H_{\text{pereaksi}}$$



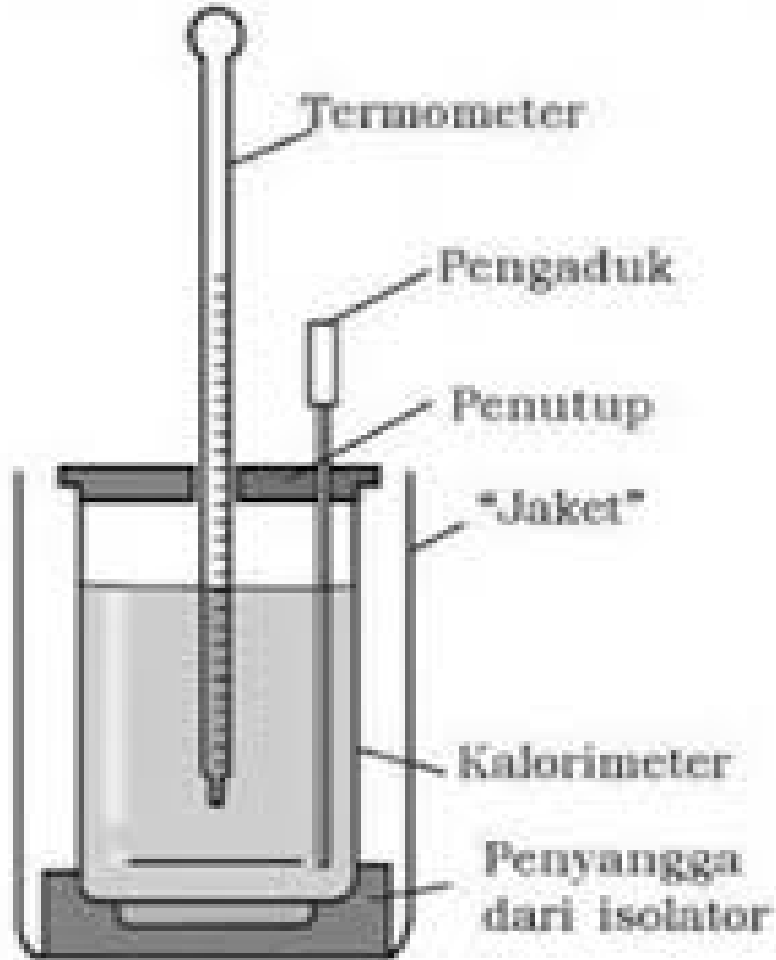
Keadaan standar
Suhu 25°C tekanan 1 atm



$$\Delta H^0 = x \text{ kJmol}^{-1}$$



KALORIMETER



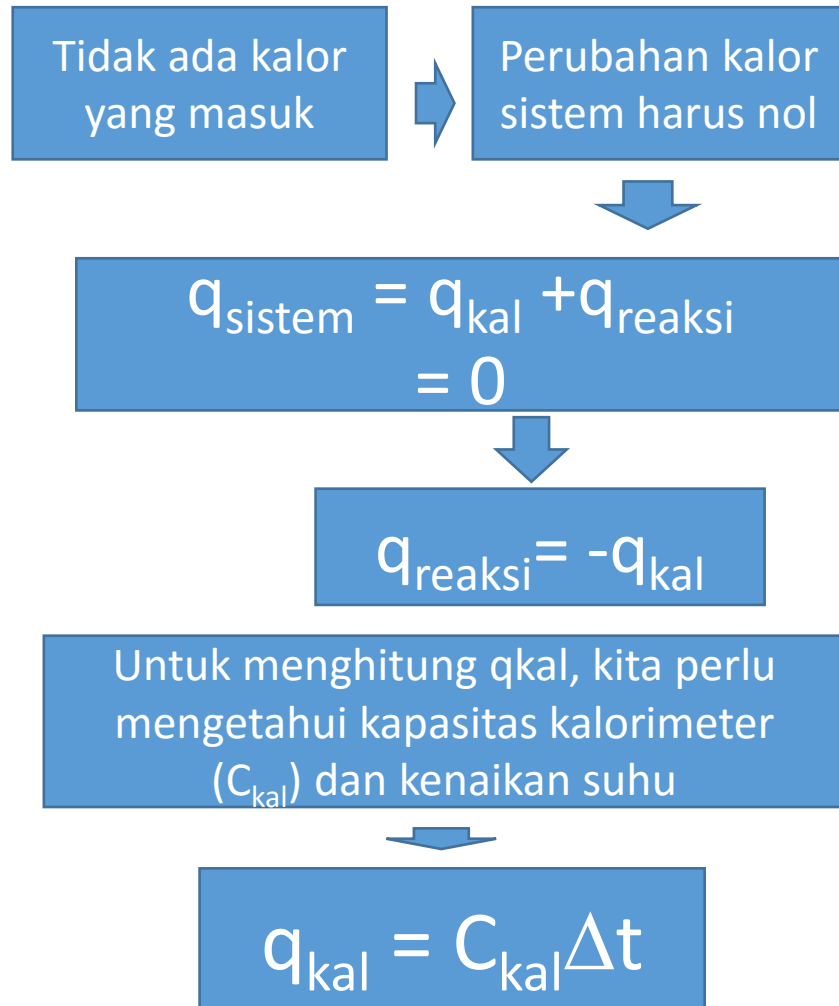
- Zat pereaksi yang terukur direaksikan di dalam kalorimeter
- Jika eksotermik, kalor yang dihasilkan akan menaikkan suhu air dalam kalorimeter
- Besarnya kalor dapat dihitung dari kenaikan suhu dan massa air di dalam alat tersebut
- Jika endotermik, suhu air akan turun sehingga dapat dihitung kalor yang diserap

Kalorimeter volume-konstant (calorimeter bom)



- Kalor pembakaran biasanya diukur dengan menempatkan senyawa yang massa diketahui dalam wadah baja yang diisi dengan oksigen pada tekanan 30 atm
- Bom dicelupkan dalam air
- Sampel dihubungkan ke listrik, dan kalor yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran dapat dihitung secara tepat dengan mencatat kenaikan suhu air.
- Kalor yang dilepas oleh sampel diserap oleh air dan bom.
- Bom dan air tempat pencelupannya disebut sebagai system terisolasi

Kalorimeter volume-konstant



- Sejumlah 1,435 g naftalena(C_{10}H_8), zat yang berbau tajam yang digunakan untuk mengusir ngengat, dibakar dalam kalorimeter bom volume konstant. Akibatnya suhu air naik dari $20,17^{\circ}\text{C}$ menjadi $25,84^{\circ}\text{C}$. Jika kapasitas kalorimeter adalah $10,17 \text{ kJ}/^{\circ}\text{C}$, hitunglah kalor pembakaran naftalena per mol, yaitu tentukan kalor pembakaran molar dalam kJ/mol

Penyelesaian

- Menentukan kalor yang diserap oleh calorimeter

$$\begin{aligned}q_{\text{kal}} &= C_{\text{kal}} \Delta t \\&= (10,17 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C})(25,84^{\circ}\text{C} - 20,17^{\circ}\text{C}) \\&= 57,66 \text{ kJ}\end{aligned}$$

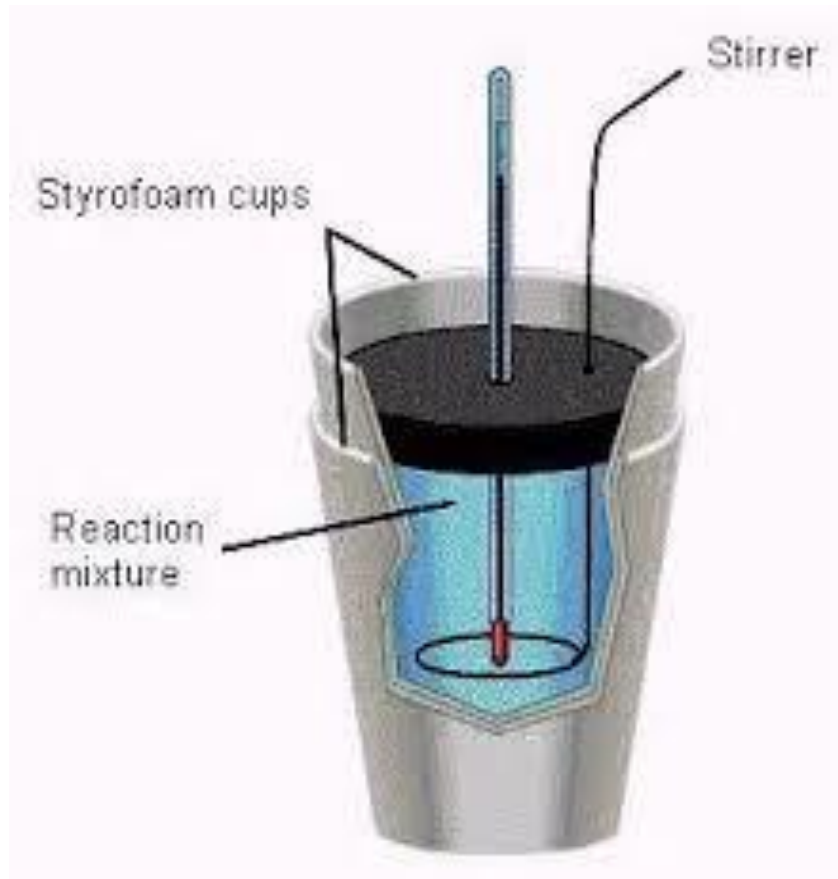
- Karena kalorimeter merupakan sistem terisolasi, kalor ini juga harus merupakan kalor yang dilepaskan oleh reaksi

$$q_{\text{reaksi}} = -57,66 \text{ kJ}$$

- Massa molar naftalena adalah 128,2 g, sehingga kalor pembakaran 1 mol naftalena atau kalor pembakaran molarnya adalah

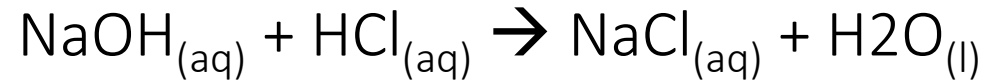
$$\begin{aligned}\text{Kalor pembakaran molar} &= \frac{-57,66 \text{ kJ}}{1,435 \text{ g } C_{10}H_8} \times \frac{128,2 \text{ g } C_{10}H_8}{1 \text{ mol } C_{10}H_8} \\&= -5151 \text{ kJmol}^{-1}\end{aligned}$$

Kalorimeter Tekanan Konstan



- Dapat dibuat dari dua cangkir kopi Styrofoam.
- Peralatan ini mengukur pengaruh kalor pada berbagai reaksi kimia (penetralan asam-basa, kalor kelarutan, dan kalor pengenceran)
- Tekanan konstan $\rightarrow q_{\text{reaksi}} = \Delta H$
- Kalorimeter sebagai sistem terisolasi
- Perhitungan ini mengabaikan kapasitas kalor yang kecil dari cangkir kopi

Sejumlah $1,00 \times 10^2 \text{ mL}$ HCl $0,500 \text{ M}$ dicampur dengan $1,00 \times 10^2 \text{ mL}$ NaOH $0,500 \text{ M}$ dalam calorimeter tekanan constant. Suhu awal larutan HCl dan NaOH adalah sama, yaitu $22,50^\circ\text{C}$, dan suhu akhir larutan campuran adalah $25,86^\circ\text{C}$. Hitunglah perubahan kalor untuk reaksi penetralan tersebut!



Asumsikan kerapatan dan kalor jenis larutan adalah sama seperti air (masing-masing $1,00 \text{ gram/mL}$) dan $4,184 \text{ J/g}^\circ\text{C}$)

- Penyelesaian

Dengan mengasumsikan tidak ada kalor yang hilang ke lingkungan dan dengan mengabaikan kapasitas kalor calorimeter, kita tulis

$$\begin{aligned} q_{\text{sistem}} &= q_{\text{lar}} + q_{\text{reaksi}} \\ &= 0 \rightarrow q_{\text{reaksi}} = -q_{\text{lar}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{lar}} &= (1,00 \times 10^2 \text{ g} + 1,00 \times 10^2 \text{ g})(4,184 \text{ J/g}^\circ\text{C})(25,86^\circ\text{C} - 22,50^\circ\text{C}) \\ &= 2,81 \times 10^3 \text{ J} \\ &= 2,81 \text{ kJ} \rightarrow q_{\text{reaksi}} = -2,81 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\text{Kalor penetralan} = \frac{-2,81 \text{ kJ}}{0,0500 \text{ mol}} = -56,2 \text{ kJ/mol}$$

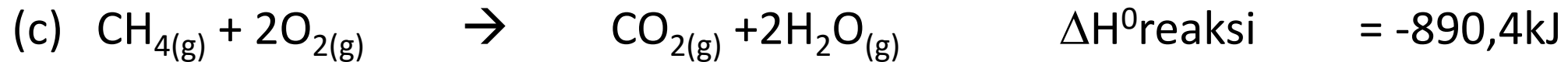
Hukum Hess

Bila reaktan diubah menjadi produk, perubahan entalpinya sama terlepas apakah reaksi berlangsung dalam satu tahap atau dalam beberapa tahap.

Perhatikan reaksi berikut ini:

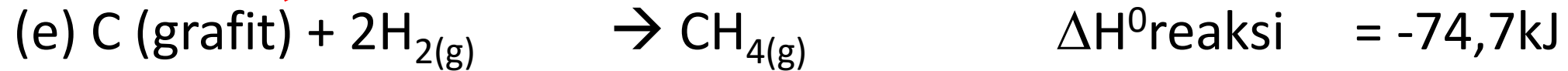
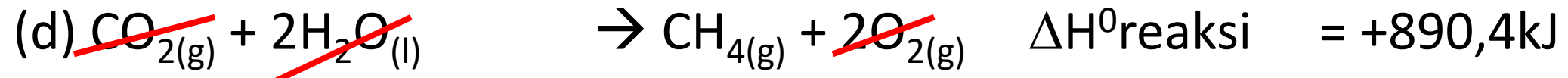
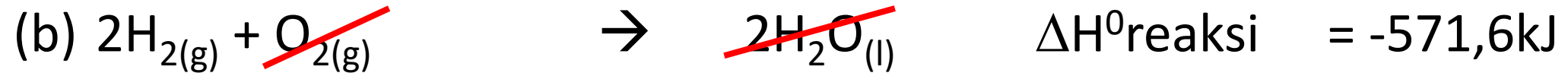


Diberikan data entalpi sebagai berikut, tentukan ΔH^0 reaksinya!



Karena kita ingin memperoleh satu persamaan yang mengandung C dan H_2 sebagai reaktan dan CH_4 sebagai produknya, kita harus membalik reaksi (c) untuk mendapatkan:

Tahap berikutnya adalah menambahkan (a), (b), dan (d):



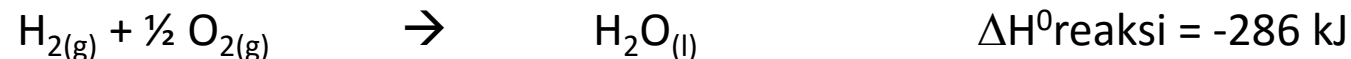
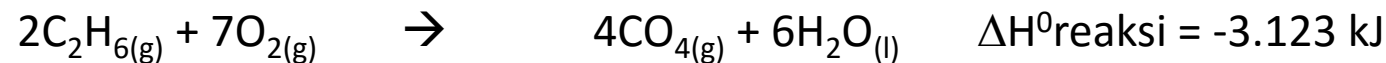
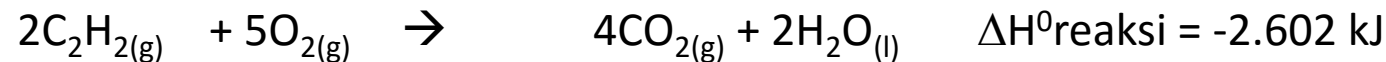
$$\therefore \Delta H^0_{\text{reaksi}} \text{CH}_4 = -74,7 \text{ kJ/mol}$$

Latihan:

Tentukan kalor reaksi untuk:



Jika diketahui:



Data Pembentukan standar

Kalor pembentukan unsur bebas pada suhu 25°C dan tekanan 1 atm adalah nol

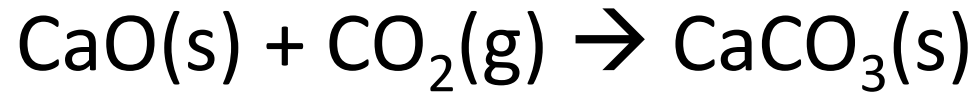


dimana, a,b,c,dan d adalah koefisien stoikiometri.

$$\Delta H^0_{\text{reaksi}} = [c\Delta H^0_f(C) + d\Delta H^0_f(D)] - [a\Delta H^0_f(A) + b\Delta H^0_f(B)]$$

$$\Delta H^0_{\text{reaksi}} = \sum n\Delta H^0_f(\text{produk}) - \Delta \sum m\Delta H^0_f(\text{reaktan})$$

- Tentukan $\Delta H^0_{\text{reaksi}}$ untuk



Jika diketahui data ΔH^0_f CaO, CO₂, dan CaCO₃ masing-masing -635,5 kJ; -394 kJ; dan 1206,9 kJ

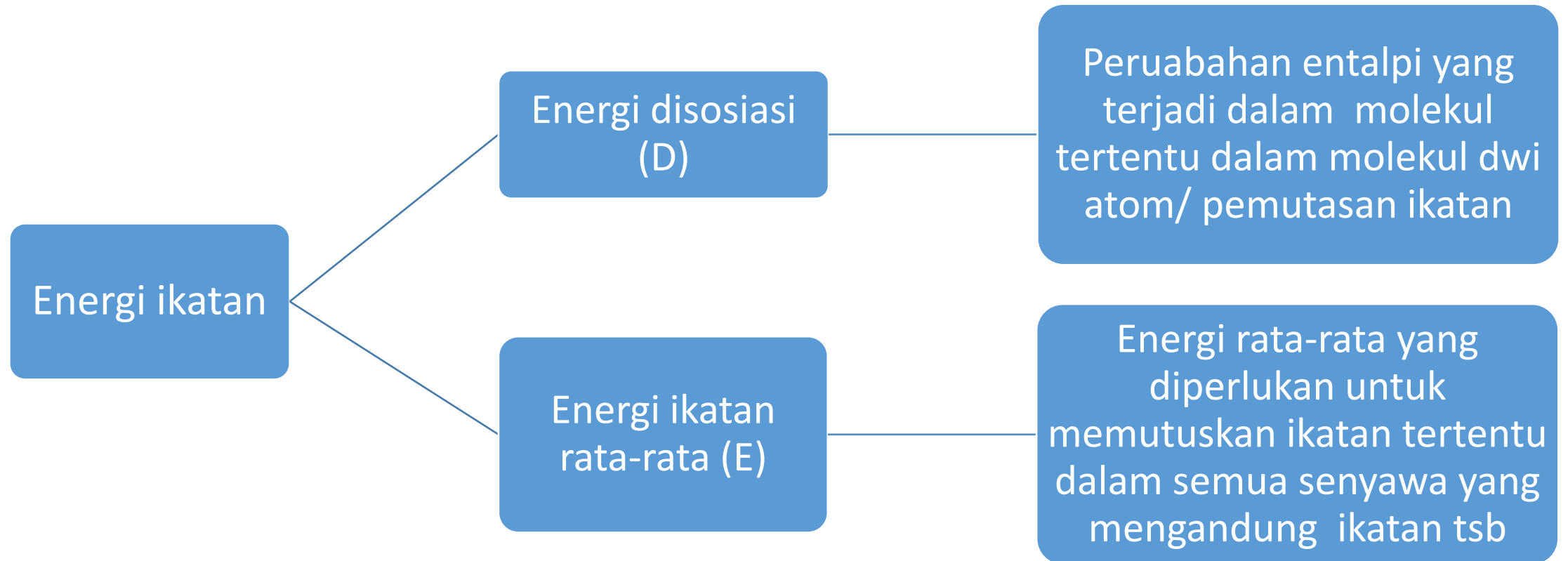
Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\Delta H^0_{\text{reaksi}} &= 1206,9\text{kJ} - (-635,5 + (-394)) \text{ kJ} \\ &= 2236,4 \text{ kJ}\end{aligned}$$

ENERGI IKATAN

- Energi ikatan adalah energi rata-rata yang diperlukan untuk memutuskan ikatan antar dua atom dalam senyawa.
- Data digunakan untuk menghitung energi pengatoman senyawa (ΔH^0_{atom}), yaitu energi yang diperlukan untuk memutuskan semua ikatan dalam senyawa (dalam keadaan gas) menjadi atom-atomnya
- Asumsi energi ikat:
 - a. Semua ikatan dari suatu jenis tertentu, bersifat identik.
 - b. Energi ikatan dari ikatan tertentu tidak bergantung pada senyawa dimana ikatan itu ditemukan

Macam-macam energi ikatan



Data Energi Ikatan

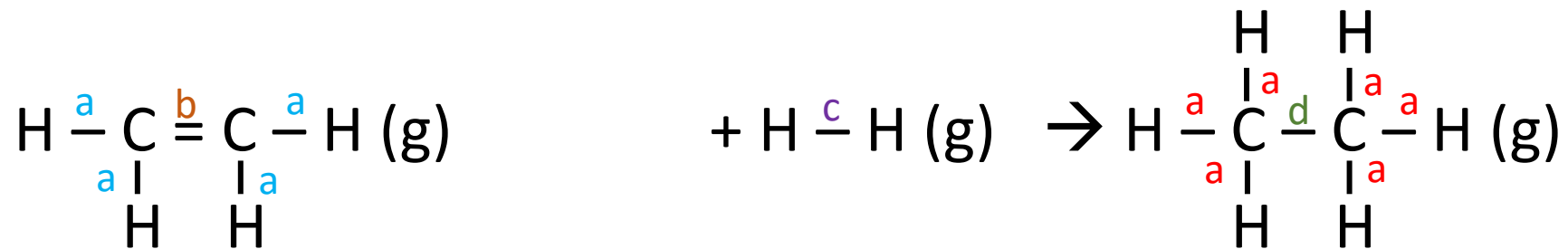
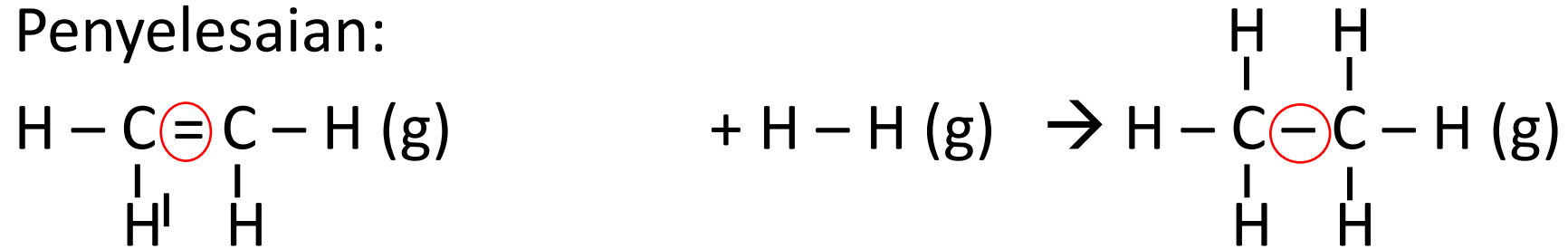
Jenis Ikatan	Energi Ikatan (kJ/mol)	Jenis Ikatan	Energi Ikatan (kJ/mol)
H – C	415	C = O	724
H – O	463	C – N	292
H – F	563	C = N	619
H – Cl	432	C ≡ N	879
H – Br	366	C – C	348
H – I	299	C = C	607
C – O	356	C ≡ C	833

$$\Delta H^0_{\text{reaksi}} = \Sigma \text{Energi pengatoman pereaksi} - \Sigma \text{Energi pengatoman hasil reaksi}$$

- Tentukan kalor reaksi untuk :



Penyelesaian:



Pereaksi

C – H : 4 ; C=C :1; H – H : 1

Hasil Reaksi

C – H : 6; C – C :1

Jumlah Energi ikat

- Pereaksi

$C = C : 1 \times 348$

$C - H : 4 \times 415$

$H - H : 1 \times 436$ 2444 kJ

- Hasil reaksi

$C - H : 6 \times 415$

$C - C : 1 \times 348$ 2838 kJ

Entalpi : - 394 kJ