



# KINETIKA KIMIA

---

## LAJU DAN MEKANISME DALAM REAKSI KIMIA

Disampaikan oleh : Dr. Sri Handayani  
2013

# Pendahuluan

---

- Perubahan kimia secara sederhana ditulis dalam persamaan reaksi dengan koefisien seimbang
- Namun persamaan reaksi tidak dapat menjawab 3 isu penting
  1. Seberapa cepat reaksi berlangsung
  2. Bagaimana konsentrasi reaktan dan produk saat reaksi selesai
  3. Apakah reaksi berjalan dengan sendirinya dan melepaskan energi, ataukah ia memerlukan energi untuk bereaksi?

# Pendahuluan lanjutan

---

- Kinetika kimia adalah studi tentang laju reaksi, perubahan konsentrasi reaktan (atau produk) sebagai fungsi dari waktu
- Reaksi dapat berlangsung dengan laju yang bervariasi, ada yang serta merta, perlu cukup waktu (pembakaran) atau waktu yang sangat lama seperti penuaan, pembentukan batubara dan beberapa reaksi peluruhan radioaktif

# Faktor yang Mempengaruhi Laju Reaksi

---

- Pada kondisi tertentu masing-masing reaksi memiliki karakteristik laju masing-masing yang ditentukan oleh sifat kimia reaktan

- Pada suhu kamar:



# Faktor yang Mempengaruhi Laju Reaksi

---

- Konsentrasi: molekul-molekul harus bertumbukan agar terjadi reaksi dalam konteks ini laju reaksi proporsional dengan konsentrasi reaktan
- Keadaan fisik: molekul-molekul harus bercampur agar dapat bertumbukan
- Temperatur: molekul harus bertumbukan dengan energi yang cukup untuk bereaksi

# Mengekspresikan Laju Reaksi

---

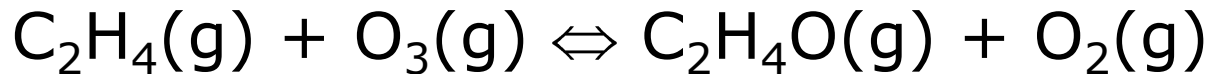
$$\text{Laju Gerak} = \frac{\text{Perubahan posisi}}{\text{Perubahan waktu}} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju reaksi} &= \frac{\text{Perubahan konsentrasi A}}{\text{Perubahan waktu}} \\ &= -\frac{\text{Konst A}_2 - \text{Konst A}_1}{t_2 - t_1} = -\frac{\Delta(\text{Konst A})}{\Delta t} \end{aligned}$$

$$Laju = -\frac{\Delta \mathbf{A}}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{B}}{\Delta t}$$

# Laju Reaksi Rerata, Instan dan Awal

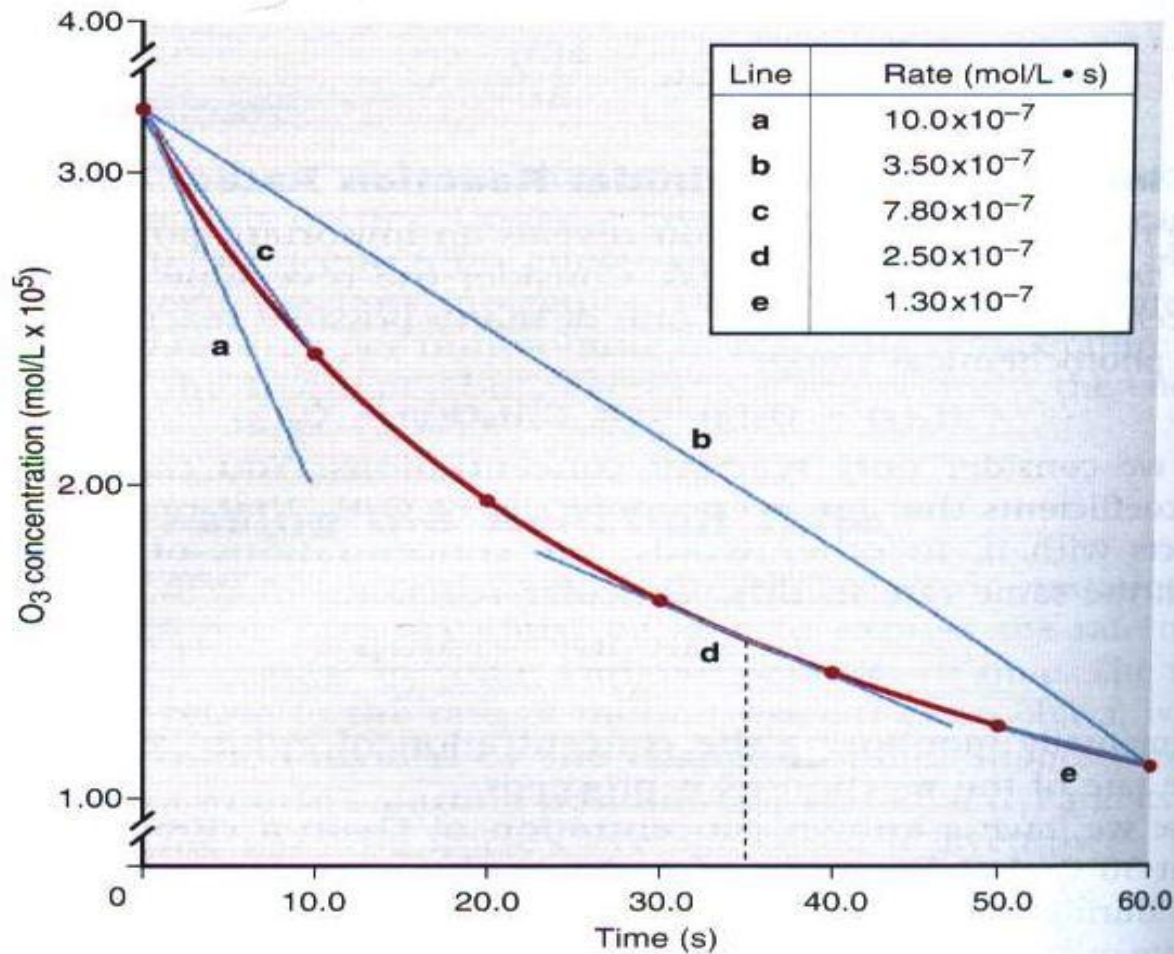
---



Konsentrasi  $\text{O}_3$  pada beberapa waktu dalam Reaksinya dengan  $\text{C}_2\text{H}_4$  pada 303 K

Waktu (s)	Konsentrasi $\text{O}_3$ (mol/L)
0,0	$3,20 \times 10^{-5}$
10,0	$2,42 \times 10^{-5}$
20,0	$1,95 \times 10^{-5}$
30,0	$1,63 \times 10^{-5}$
40,0	$1,40 \times 10^{-5}$
50,0	$1,23 \times 10^{-5}$
60,0	$1,10 \times 10^{-5}$

# Plot Konsentrasi vs Waktu

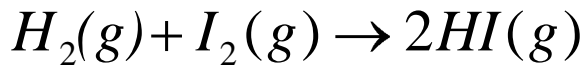




# Ekspresi Laju dalam Konsentrasi Reaktan dan Produk

$$\text{Laju} = -\frac{\Delta [C_2H_4]}{\Delta t} - \frac{\Delta [P_3]}{\Delta t} + \frac{\Delta [C_2H_4O]}{\Delta t} + \frac{\Delta [P_2]}{\Delta t}$$

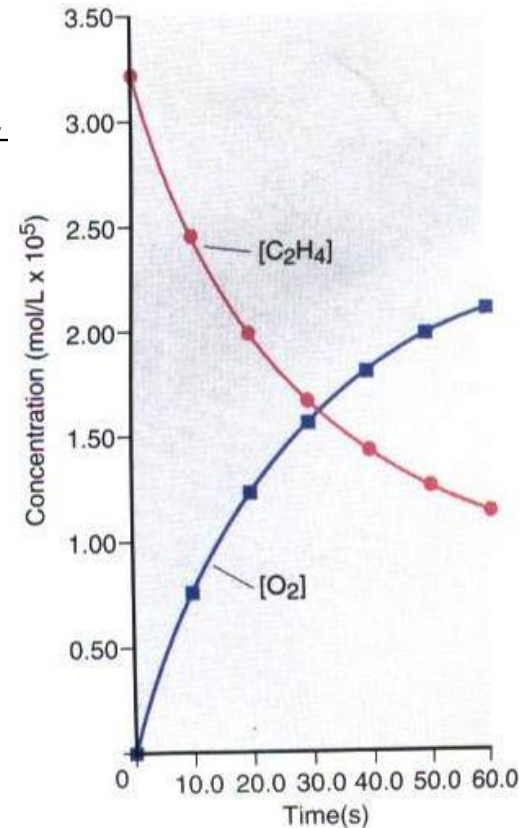
Untuk reaksi hidrogen dan iodine membentuk HI



$$\text{Laju} = -\frac{\Delta [H_2]}{\Delta t} - \frac{\Delta [I_2]}{\Delta t} + \frac{1}{2} \frac{\Delta [HI]}{\Delta t}$$

$$\text{Laju} = \frac{\Delta [HI]}{\Delta t} - 2 \frac{\Delta [H_2]}{\Delta t} - 2 \frac{\Delta [I_2]}{\Delta t}$$

atau



# Soal Latihan

---

Karena menghasilkan produk gas non polusi, hidrogen sebagai bahan bakar roket dan sumber energi masa depan:



1. Tuliskan laju reaksi ini dalam suku perubahan  $[\text{H}_2]$ ,  $[\text{O}_2]$  dan  $[\text{H}_2\text{O}]$  terhadap waktu
2. Saat  $\text{O}_2$  turun pada  $0,23 \text{ mol/L.s}$  berapa kenaikan terbentuknya  $\text{H}_2\text{O}$ ?

# Persamaan Laju dan komponennya

---

- Untuk reaksi umum:  
$$aA + bB + \dots \rightarrow cC + dD + \dots$$
- Persamaan lajunya berbentuk  
$$\text{Laju} = k[A]^m[B]^n$$
- Konstanta proporsionalitas  $k$  disebut juga konstanta laju dan karakteristik untuk reaksi pada suhu tertentu serta tidak berubah saat reaksi terjadi
- $m$  dan  $n$  disebut orde reaksi didefinisikan sejauhmana laju reaksi dipengaruhi oleh konsentrasi masing-masing reaktan
- Komponen persamaan laju: laju, orde reaksi dan konstanta laju harus ditentukan berdasarkan eksperimen bukan berdasarkan persamaan stoikiometris yang seimbang



# Menentukan Laju Awal

---

- Metoda Spektrometri
- Metoda Konduktometri
- Metoda Manometri
- Metoda Penentuan kimia secara langsung

# Terminologi Orde Reaksi

---



- Persamaan laju hasil eksperimen

$$\text{Laju} = k[\text{NO}][\text{O}_3]$$

- Reaksi dikatakan orde satu terhadap NO dan orde satu terhadap O<sub>3</sub> dan secara overall reaksi berorde dua

# Menentukan Orde Reaksi

---

- Misalkan suatu reaksi:  
$$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{NO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$$
- Persamaan laju dituliskan sebagai  
$$\text{Laju} = k[\text{O}_2]^m[\text{NO}]^n$$
- Untuk menentukan orde reaksi kita harus melakukan serangkaian eksperimen masing-masing dimulai dengan satu set konsentrasi reaktan yang berbeda-beda dan dari masing-masing akan diperoleh laju awal

# Laju Awal serangkaian eksperimen pada reaksi O<sub>2</sub> dan NO

---

Eksperimen	Konsentrasi reaktan awal (mol/L)		Laju awal (mol/L.s)
	O <sub>2</sub>	NO	
1	$1,10 \times 10^{-2}$	$1,30 \times 10^{-2}$	$3,21 \times 10^{-3}$
2	$2,20 \times 10^{-2}$	$1,30 \times 10^{-2}$	$6,40 \times 10^{-3}$
3	$1,10 \times 10^{-2}$	$2,60 \times 10^{-2}$	$12,8 \times 10^{-3}$
4	$3,30 \times 10^{-2}$	$1,30 \times 10^{-2}$	$9,60 \times 10^{-3}$
5	$1,10 \times 10^{-2}$	$3,90 \times 10^{-2}$	$28,8 \times 10^{-3}$

# Soal Latihan

---

- Salah satu reaksi gas yang terjadi dalam kendaraan adalah:



$$\text{Laju} = k[\text{NO}_2]^m[\text{CO}]^n$$

- Jika diketahui data sebagai berikut, tentukan orde reaksi keseluruhan

Eksperimen	Laju awal (mol/L.s)	[NO <sub>2</sub> ] awal (mol/L)	[CO] awal (mol/L)
1	0,0050	0,10	0,10
2	0,080	0,40	0,10
3	0,0050	0,10	0,20



# Persamaan laju Integral Perubahan Konsentrasi terhadap waktu

---

Misal reaksi  $A \rightarrow B$

$$\text{Laju} = -\frac{\Delta [A]}{\Delta t} \text{ atau } \text{Laju} = k [A]$$

$$-\frac{\Delta [A]}{\Delta t} = k [A] \text{ maka } \ln \frac{[A]_0}{[A]_t} = kt$$

Reaksi orde satu {laju =  $k [A]$ } :  $\ln [A]_0 - \ln [A]_t = kt$

Untuk reaksi orde dua  $\text{laju} = -\frac{\Delta [A]}{\Delta t} = k [A]^2$

$$\frac{1}{[A]_t} - \frac{1}{[A]_0} = kt$$

Reaksi orde dua laju =  $k[A]^2$

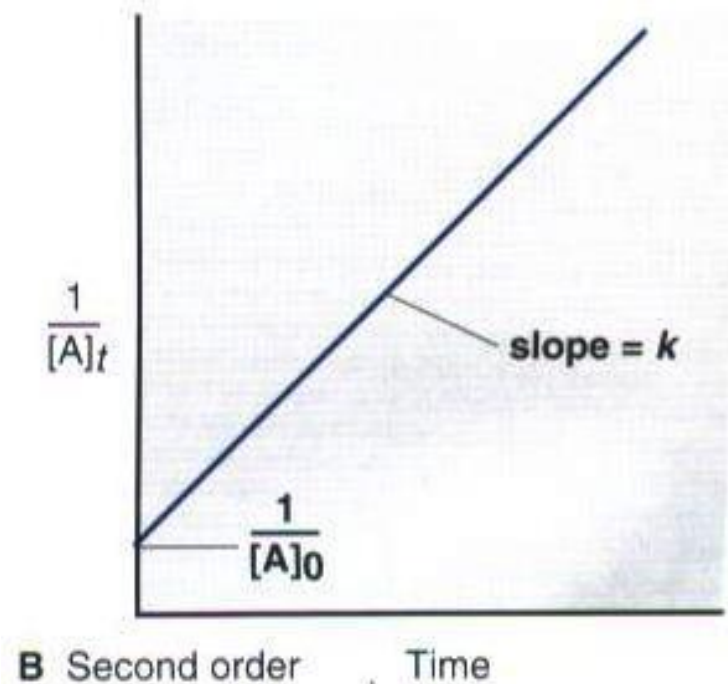
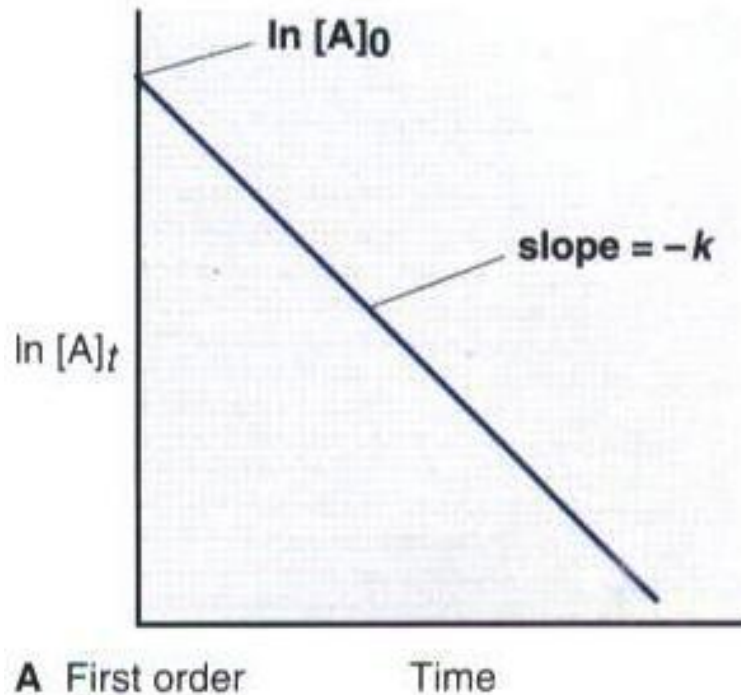
# Soal Latihan

---

Siklobutana ( $C_4H_8$ ) terdekomposisi pada  $1000^\circ C$  menjadi dua molekul etilen ( $C_2H_4$ ) dengan konstanta laju reaksi orde satu  $87\text{ s}^{-1}$

1. Jika konsentrasi awal siklobutana  $2,00\text{ M}$  berapa konsentrasinya setelah  $0,010\text{ s}$ ?
2. Berapa fraksi siklobutana terdekomposisi pada waktu tersebut

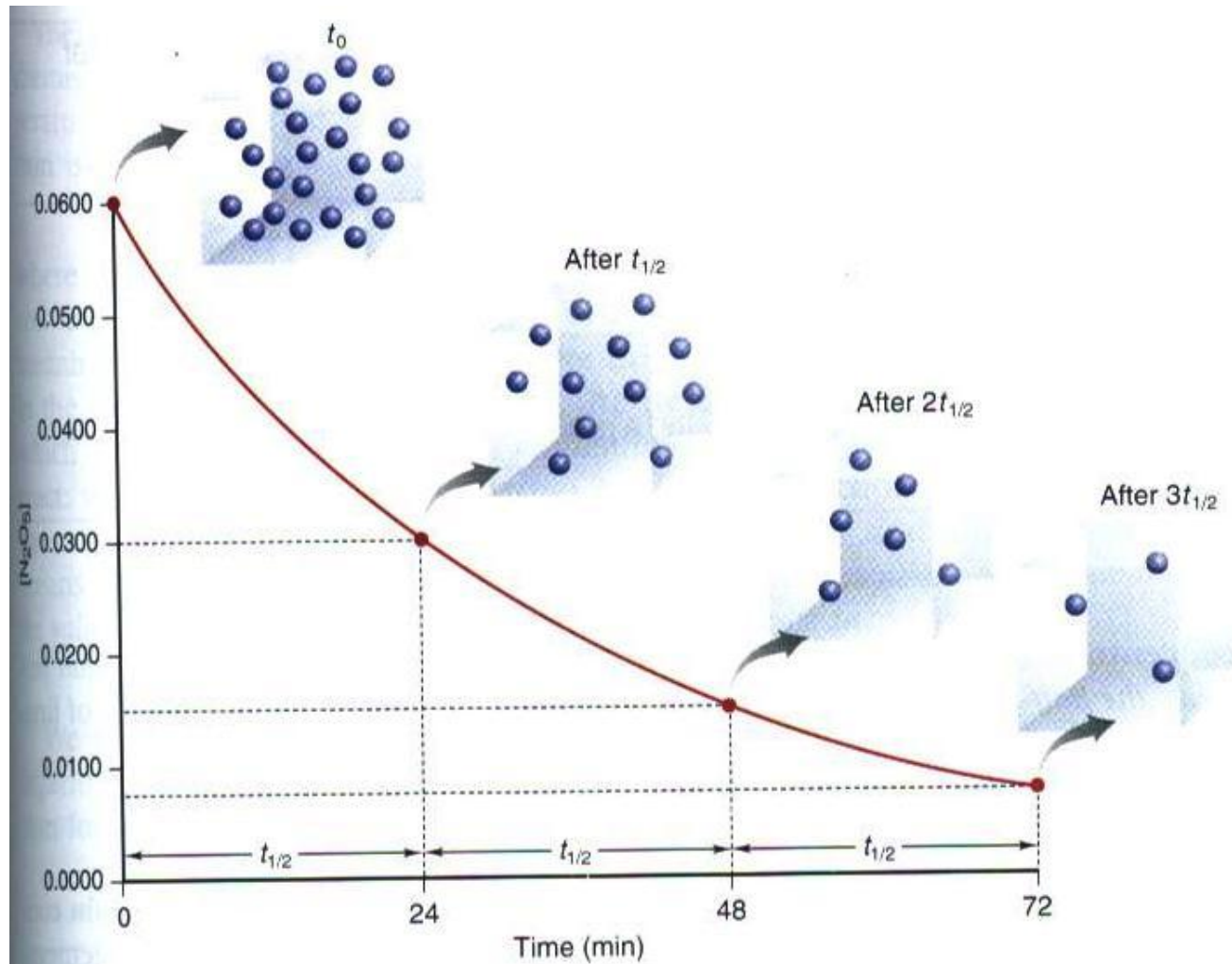
# Menentukan Orde Reaksi dari Persamaan Laju Integral



$$\ln [A]_t = -kt + \ln [A]_0$$

$$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$$

# Waktu Paruh Reaksi



# Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Reaksi

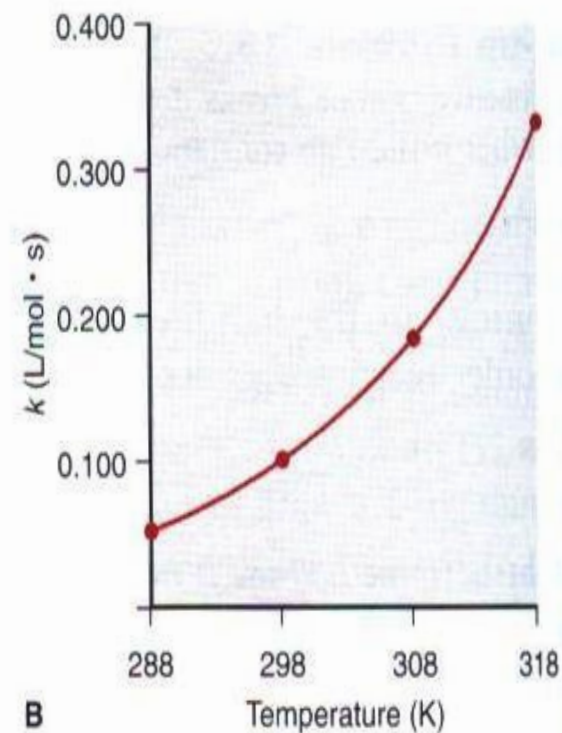
Expt	[Ester]	[H <sub>2</sub> O]	T (K)	Rate (mol/L · s)	<i>k</i> (L/mol · s)
1	0.100	0.200	288	$1.04 \times 10^{-3}$	0.0521
2	0.100	0.200	298	$2.02 \times 10^{-3}$	0.101
3	0.100	0.200	308	$3.68 \times 10^{-3}$	0.184
4	0.100	0.200	318	$6.64 \times 10^{-3}$	0.332

A

## Figure 16.10 Dependence of the rate constant on temperature.

A, In the hydrolysis of an ester, when reactant concentrations are held constant and temperature increases, the rate and rate constant increase. Note the approximate doubling of *k* with each 10 K (10°C) temperature rise.

B, A plot of the rate constant vs. temperature for this reaction shows a smoothly increasing curve.



# Persamaan Arrhenius

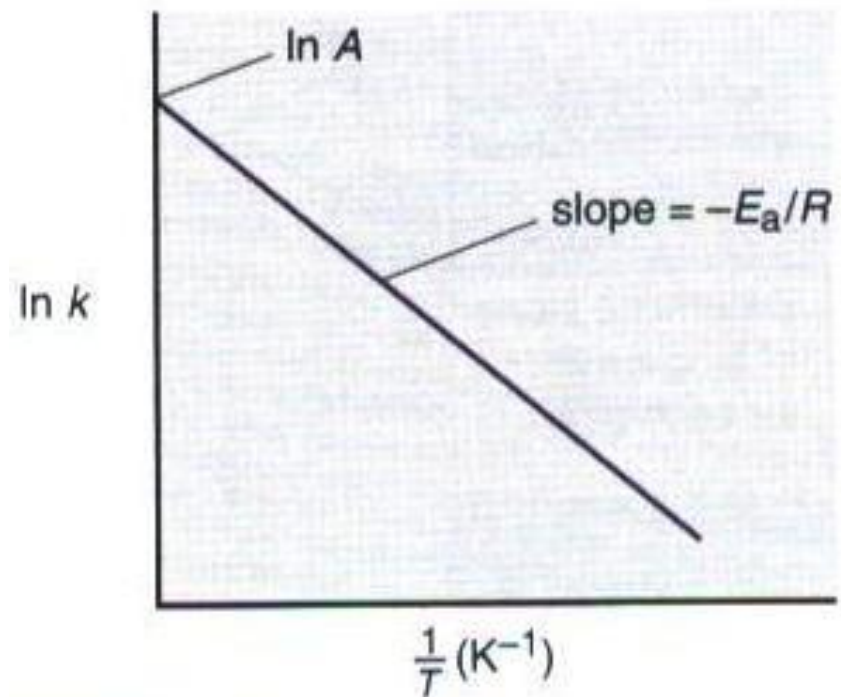
$$k = Ae^{-Ea/RT}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

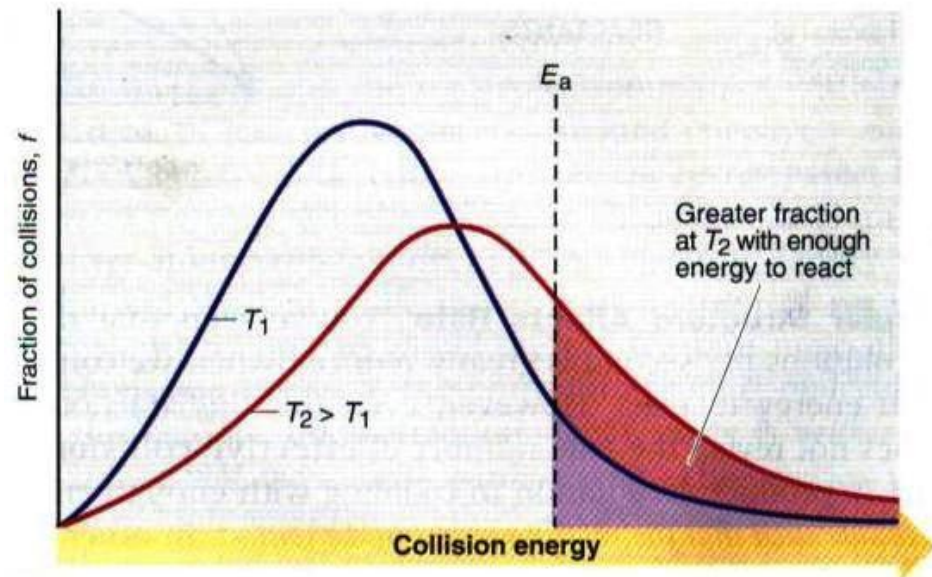
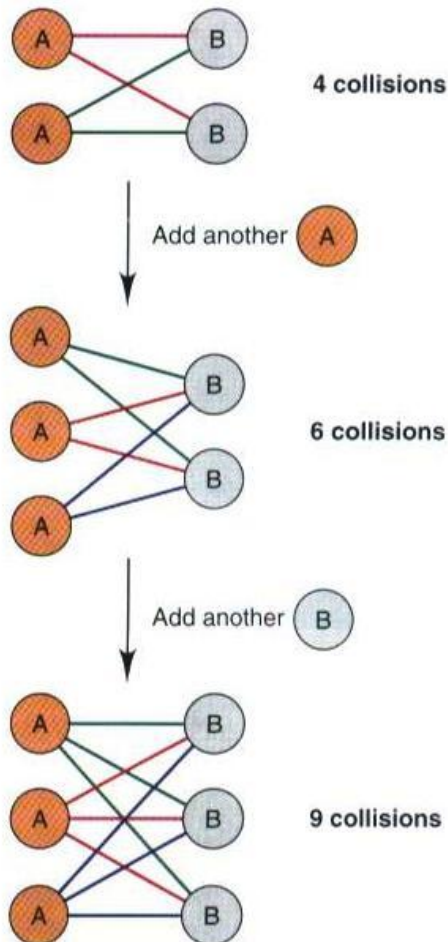
$$\ln k_2 = \ln A - \frac{Ea}{R} \left( \frac{1}{T_2} \right)$$

$$\ln k_1 = \ln A - \frac{Ea}{R} \left( \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{Ea}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$



# Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur



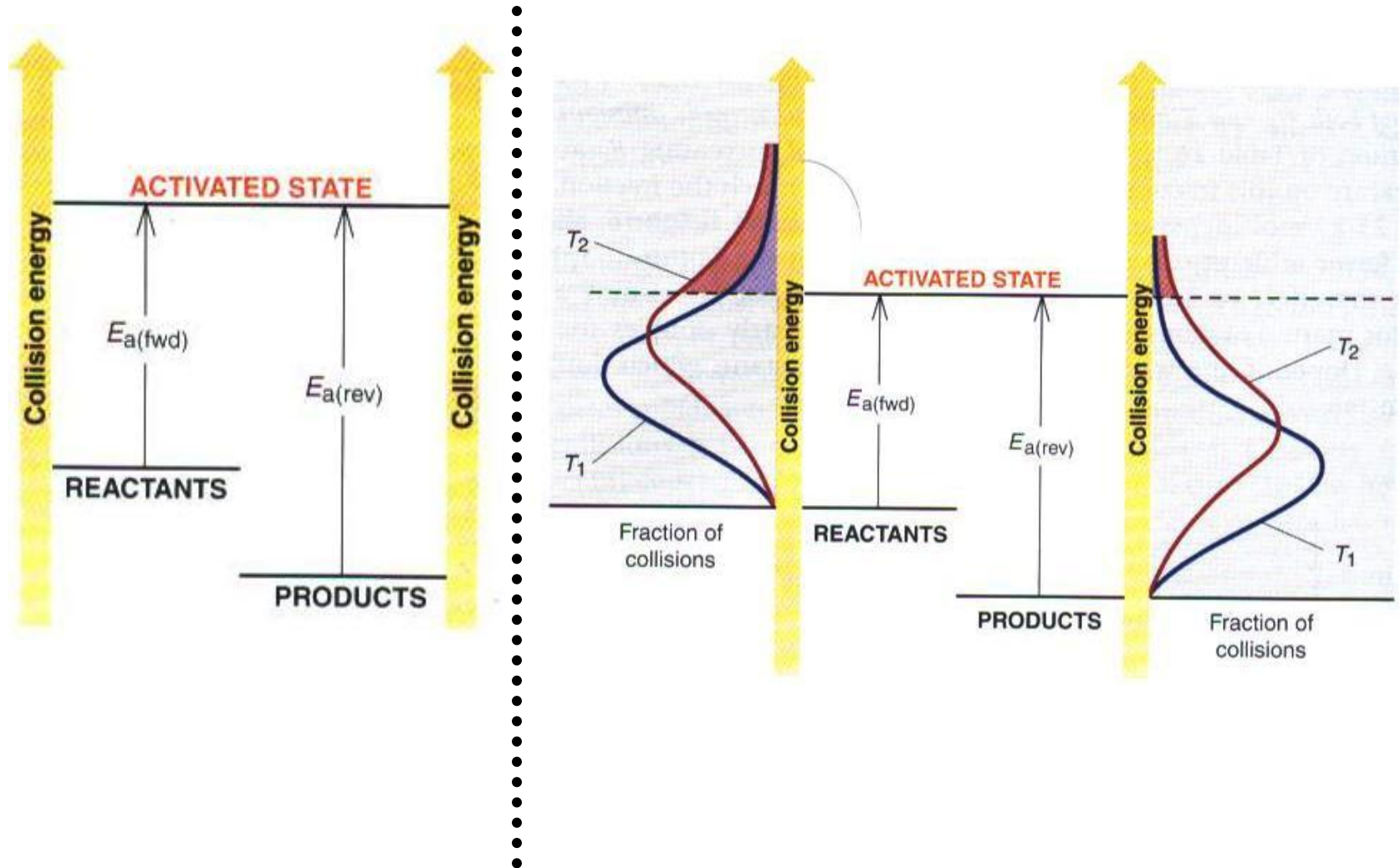
**Table 16.5** The Effect of  $E_a$  and  $T$  on the Fraction ( $f$ ) of Collisions with Sufficient Energy to Allow Reaction

$E_a$ (kJ/mol)	$f$ (at $T = 298$ K)
50	$1.70 \times 10^{-9}$
75	$7.03 \times 10^{-14}$
100	$2.90 \times 10^{-18}$

$T$	$f$ (at $E_a = 50$ kJ/mol)
25°C (298 K)	$1.70 \times 10^{-9}$
35°C (308 K)	$3.29 \times 10^{-9}$
45°C (318 K)	$6.12 \times 10^{-9}$

# Diagram Tingkat Energi



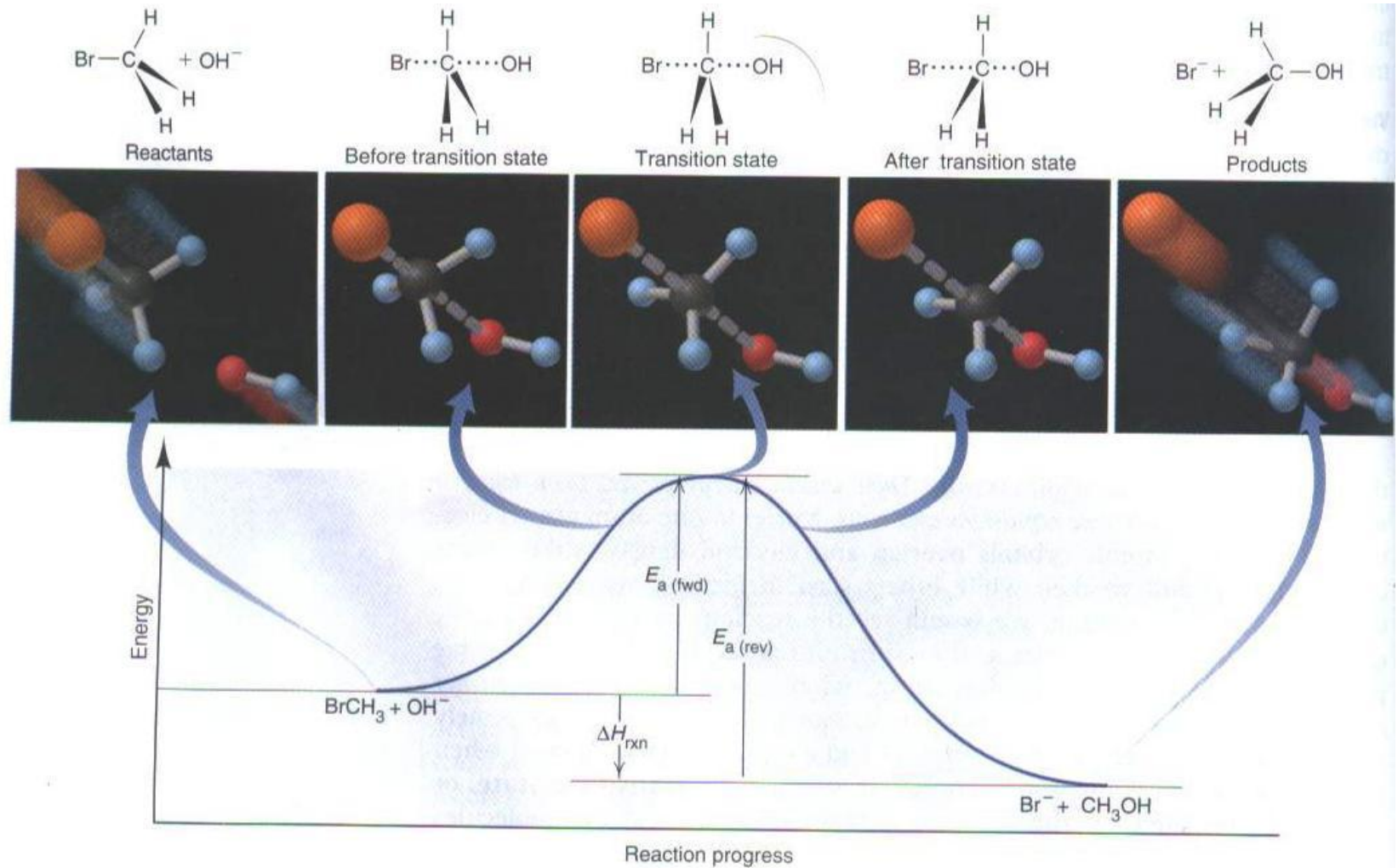


# Pengaruh Struktur Molekul : Faktor Frekuensi

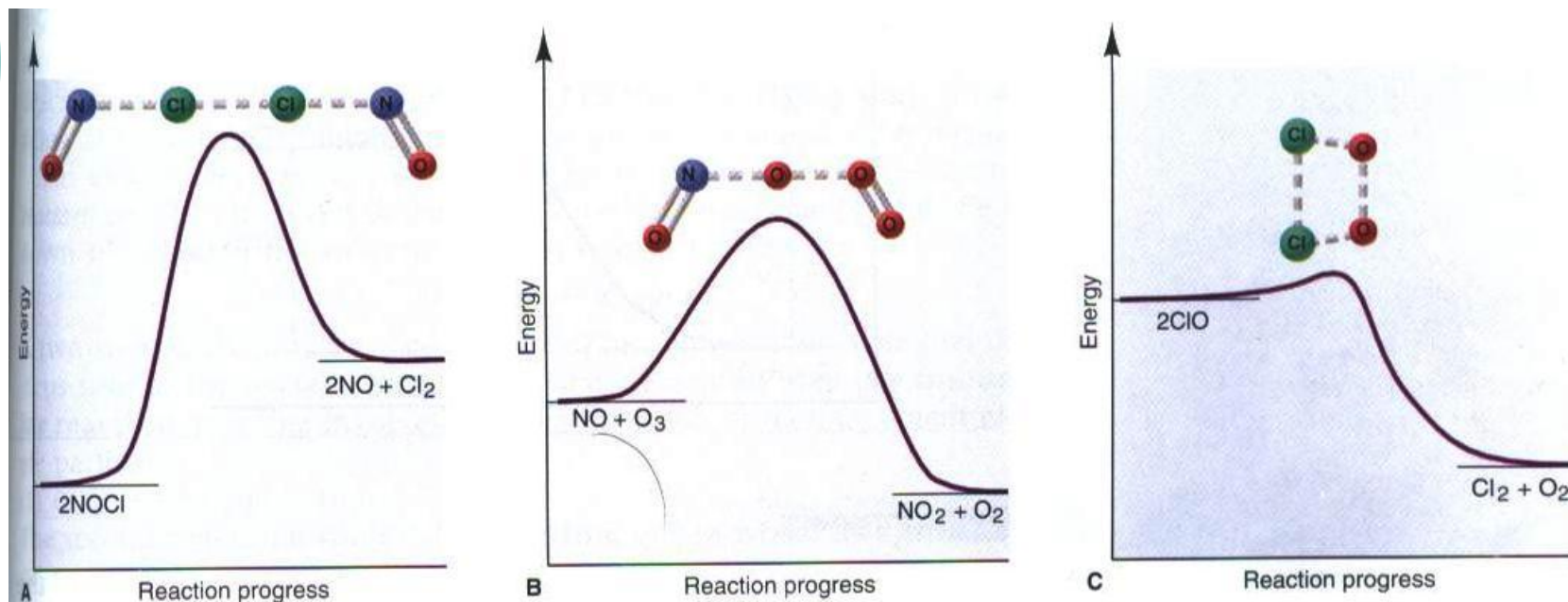
---

- Tumbukan Efektif: molekul harus bertumbukan sedemikian rupa sehingga atom yang bereaksi melakukan kontak dengan energi yang cukup sehingga membentuk produk
- 2 kriteria: energi yang cukup dan orientasi molekul yang tepat

# Teori Keadaan Transisi



# Diagram Energi dan Keadaan Transisi 3 Jenis Reaksi



**Figure 16.20 Reaction energy diagrams and possible transition states for three reactions.**

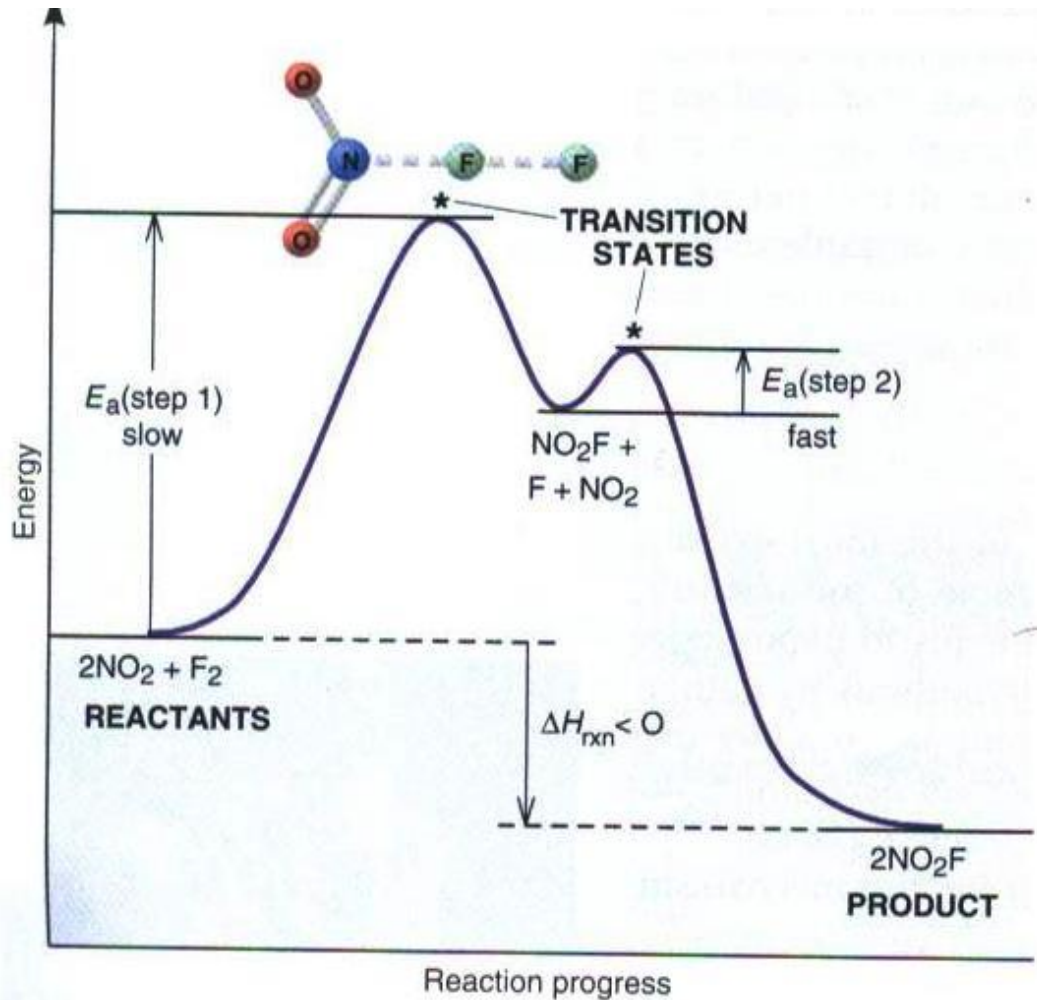
**A**,  $2\text{NOCl}(g) \longrightarrow 2\text{NO}(g) + \text{Cl}_2(g)$   
(despite the formula  $\text{NOCl}$ , the atom sequence is  $\text{ClNO}$ ).

**B**,  $\text{NO}(g) + \text{O}_3(g) \longrightarrow \text{NO}_2(g) + \text{O}_2(g)$ .

**C**,  $2\text{ClO}(g) \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + \text{O}_2(g)$ .

Note that reaction **A** is endothermic, **B** and **C** are exothermic, and **C** has a very small  $E_{a(\text{fwd})}$ .

# Diagram Energi Reaksi 2 Tahap



# Diagram Energi Reaksi Katalisis dan Non Katalisis

