

Laju Reaksi

A. KEMOLARAN

➤ **Dalam laju reaksi**, besaran yang digunakan adalah kemolaran benda.

➤ **Kemolaran** menyatakan jumlah mol zat terlarut dari tiap liter larutan atau gas, menunjukkan kekentalan atau kepekatan.

$$M = \frac{n}{V}$$

M = kemolaran/molaritas (mol/L)
n = jumlah mol zat terlarut (mol)
V = volume larutan/ruangan gas (L)

➤ **Kemolaran larutan** juga dapat diketahui dari kadar zat terlarut, dapat dirumuskan:

$$M = \frac{\rho \times K \times 10}{m_m}$$

ρ = massa jenis larutan (kg/L)
K = persen kadar zat terlarut
 m_m = massa molar/Ar/Mr (kg)

➤ **Kemolaran larutan** dapat diubah dengan ditambahkan zat terlarut sehingga pekat atau ditambahkan zat pelarut sehingga encer, dan berlaku **rumus pengenceran**:

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

B. LAJU REAKSI

➤ **Laju reaksi** adalah kecepatan proses terjadinya suatu reaksi, sehingga reaktan habis dan berubah menjadi produk reaksi.

➤ **Perbandingan** laju reaksi suatu reaksi sama dengan perbandingan koefisien reaksi.

➤ **Laju reaksi** merupakan perubahan jumlah molar zat per satuan waktu.

$$v = \frac{\Delta[x]}{\Delta t}$$

v = laju reaksi (M/s)
 $\Delta[x]$ = perubahan konsentrasi molar zat (M)
 Δt = perubahan waktu (s)

➤ **Dalam laju reaksi**, terjadi:

- 1) Pengurangan konsentrasi zat-zat reaktan karena berubah menjadi produk per satuan waktu.
- 2) Penambahan konsentrasi zat-zat produk karena perubahan reaktan per satuan waktu.

➤ **Urutan pengamatan** dari yang termudah dilakukan untuk mengamati laju reaksi.

- 1) Laju reaksi diamati dari laju **pembentukan gas**, dengan mengumpulkannya ke tempat lain lalu diukur.
- 2) Laju reaksi diamati dari laju **pengendapan zat**, yaitu sampai bagian dasar tabung tidak terlihat.
- 3) Laju reaksi diamati sampai pereaksi padat hilang (reaksi telah selesai).

➤ **Laju reaksi** pada suatu reaksi yang terjadi melalui beberapa tahap, tahap yang dijadikan acuan sebagai laju reaksi adalah tahap yang **berjalan lambat** (mudah diamati).

➤ **Laju reaksi** dicatat per interval waktu tertentu, misalnya per menit.

➤ **Laju reaksi** makin lama akan makin kecil nilainya, karena:

- 1) Jumlah reaktan yang semakin berkurang, dan pada akhirnya bernilai nol (reaksi selesai).
- 2) Jumlah produk yang semakin bertambah dan pada akhirnya bernilai tetap (reaksi selesai).

Contoh:

Pada pembakaran suatu senyawa, tercatat gas X yang dihasilkan pada tiap menitnya:

Waktu (menit)	Volume X (cm ³)
0	0
1	10
2	19
3	26
4	32
5	35
6	35
7	35

Laju sesaat pada menit ke-1

$$v = \frac{10-0}{1-0} = 10 \text{ cm}^3/\text{menit}$$

Laju sesaat pada menit ke-2

$$v = \frac{19-10}{2-1} = 9 \text{ cm}^3/\text{menit}$$

Laju sesaat pada menit ke-3

$$v = \frac{26-19}{3-2} = 7 \text{ cm}^3/\text{menit}$$

Laju reaksi rata-rata selama 3 menit

$$v = \frac{26}{3} = 8,67 \text{ cm}^3/\text{menit}$$

Laju reaksi rata-rata (total)

$$v = \frac{35}{5} = 7 \text{ cm}^3/\text{menit}$$

C. UNGKAPAN LAJU REAKSI

➤ **Laju reaksi** dapat diungkapkan menggunakan rumus dan perbandingan koefisien reaksi.

➤ **Laju pengurangan konsentrasi reaktan** dinyatakan dalam tanda negatif (hanya simbol).

➤ **Laju penambahan konsentrasi produk** dinyatakan dalam tanda positif (hanya simbol).

Contoh:

Menurut reaksi $A + B \rightarrow C + D$

Jawab:

Laju reaksi dapat diungkapkan:

a. Laju pengurangan [A]

$$v = - \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

b. Laju pengurangan [B]

$$v = - \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

c. Laju penambahan [C]

$$v = + \frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$

d. Laju penambahan [D]

$$v = + \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

Dalam perbandingan koefisien reaksi, maka laju reaksi dapat dinyatakan:

$$v_A = \frac{\text{koefisien A}}{\text{koefisien B}} \times v_B$$

Contoh:

Menurut reaksi $2N_2O_5 \rightarrow 4NO + 3O_2$

Laju pembentukan NO adalah 5 M/s. Tentukan laju penguraian N_2O_5 dan pembentukan O_2 !

Jawab:

Sesuai dengan perbandingan koefisien reaksi,

$$v_{N_2O_5} = \frac{\Delta[N_2O_5]}{\Delta t} = \frac{2}{4} \frac{\Delta[NO]}{\Delta t}$$

$$v_{N_2O_5} = 0,5 \times 5 = -2,5 \text{ M/s}$$

$$v_{O_2} = \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{3}{4} \frac{\Delta[NO]}{\Delta t}$$

$$v_{O_2} = 0,75 \times 5 = +3,75 \text{ M/s}$$

D. PERSAMAAN LAJU REAKSI

Persamaan laju reaksi dikaitkan dengan laju perubahan konsentrasi reaktan, dan dapat dituliskan:

Pada reaksi $A + B \rightarrow C + D$

Nilai persamaan laju reaksi:

$$v = k[A]^x[B]^y$$

k = konstanta/tetapan laju reaksi

x = orde/tingkat reaksi terhadap A

y = orde/tingkat reaksi terhadap B

x + y = orde reaksi total

Orde reaksi adalah pangkat konsentrasi yang menunjukkan tingkat reaksi suatu zat.

Orde reaksi tidak ditentukan dari koefisien reaksi, tapi dari data eksperimen.

Orde reaksi biasanya merupakan bilangan bulat positif, namun dapat bernilai pecahan, nol, atau negatif.

Orde reaksi total adalah penjumlahan orde reaksi seluruh zat reaktan.

Contoh:

Tentukan orde reaksi total dari persamaan laju reaksi berikut!

$$v = k[A][B] \quad \text{Orde total} = 2$$

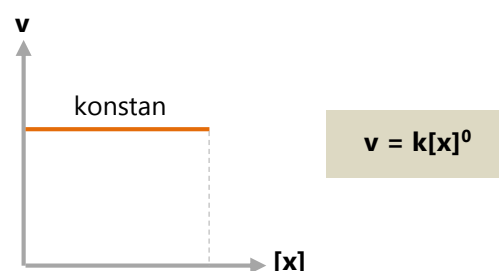
$$v = k \frac{[A]}{[B]} \quad \text{Orde total} = 0$$

$$v = k[A]^2[B] \quad \text{Orde total} = 3$$

$$v = k[A]^{-2}[B]^1 \quad \text{Orde total} = -1$$

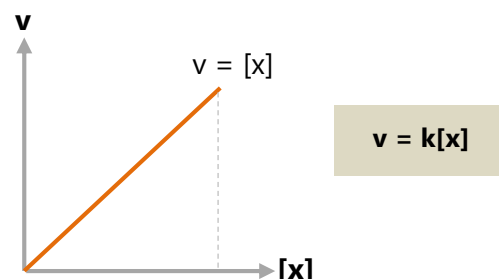
Macam-macam orde reaksi total umum:

1) **Orde reaksi nol**



Pada orde reaksi nol, laju reaksi tidak dipengaruhi oleh konsentrasi zat (konstan).

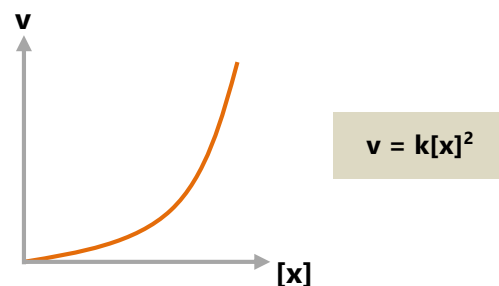
2) **Orde reaksi satu**




Pada orde reaksi satu, pertambahan laju reaksi sama dengan perubahan konsentrasi zat.

Apabila konsentrasi reaktan reaksi orde satu dikali faktor n, maka nilai laju reaksinya adalah n^1 lebih besar.

3) **Orde reaksi dua**



Apabila konsentrasi reaktan reaksi orde satu dikali faktor n, maka nilai laju reaksinya adalah n^2 lebih besar.

 **Konstanta laju reaksi** atau **tetapan laju reaksi** adalah tetapan yang harganya bergantung pada jenis pereaksi, suhu dan katalis.

 **Harga konstanta laju reaksi:**

- 1) **Berbanding terbalik** dengan perubahan waktu. Makin cepat reaksi berlangsung, maka harga k makin besar.
- 2) **Berbanding lurus** dengan perubahan suhu. Makin tinggi suhu reaksi, maka harga k makin besar.

 **Satuan konstanta laju reaksi** berbeda-beda tiap orde.

- 1) **Reaksi orde nol**

$$k = \frac{v}{[A]^0} = \frac{M \cdot s^{-1}}{1} = M \cdot s^{-1}$$

- 2) **Reaksi orde satu**

$$k = \frac{v}{[A]} = \frac{M \cdot s^{-1}}{M} = s^{-1}$$


- 3) **Reaksi orde dua**


$$k = \frac{v}{[A]^2} = \frac{M \cdot s^{-1}}{M^2} = M^{-1} \cdot s^{-1}$$

- 4) **Reaksi orde tiga**

$$k = \frac{v}{[A]^3} = \frac{M \cdot s^{-1}}{M^3} = M^{-2} \cdot s^{-1}$$

E. PENENTUAN PERSAMAAN LAJU REAKSI

 **Persamaan laju reaksi** dapat ditentukan melalui minimal tiga eksperimen, dengan mengubah konsentrasi.

 **Untuk mencari orde reaksi** suatu senyawa harus dibandingkan antar dua percobaan, dan senyawa selain itu harus dibuat tetap.

 **Konstanta** dicari setelah orde reaksi didapat.

Contoh:

Pada eksperimen dalam reaksi berikut, didapatkan data:



Eksperimen	[NO] (M)	[Br ₂] (M)	v (M.s ⁻¹)
1	0,1	0,1	10
2	0,2	0,1	20
3	0,3	0,2	120

Tentukan persamaan laju reaksi diatas!

Jawab:

Untuk mencari orde reaksi NO, gunakan data eksperimen yang memuat konsentrasi Br₂ dengan nilai tetap (eksperimen 1 dan 2).

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{k [NO]_1^x \cdot [Br_2]_1^y}{k [NO]_2^x \cdot [Br_2]_2^y}$$

$$\frac{10}{20} = \frac{(0,1)^x}{(0,1)^x}$$

$$\frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^x \quad x = 1$$

Untuk mencari orde reaksi Br₂, gunakan data eksperimen yang memuat konsentrasi NO dengan nilai sama.

Karena tidak ada, maka kita gunakan eksperimen mana saja.


$$\frac{v_1}{v_3} = \frac{k [NO]_1^x \cdot [Br_2]_1^y}{k [NO]_2^x \cdot [Br_2]_2^y} \quad \frac{10}{120} = \frac{(0,1)^x \cdot (0,1)^y}{(0,3)^x \cdot (0,2)^y}$$


$$\frac{1}{12} = \left(\frac{1}{3}\right)^1 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^y \quad \frac{3}{12} = \left(\frac{1}{2}\right)^y$$

$$\frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^y \quad y = 2$$

Maka persamaan laju reaksinya adalah:


$$v = k[NO][Br_2]^2$$

 **Orde reaksi** ditentukan dengan logaritma jika nilainya bukan hasil pangkat bilangan bulat.


 **Jika data eksperimen** berupa waktu, maka nilai v adalah:

$$v = \frac{1}{t}$$


F. TEORI TUMBUKAN

 **Teori tumbukan** adalah teori yang menjelaskan pengaruh faktor terhadap laju reaksi.

Menurut teori tumbukan, suatu reaksi berlangsung sebagai hasil tumbukan antar partikel pereaksi yang memiliki energi cukup dan arah tumbukan yang tepat.


 **Berdasarkan teori tumbukan**, laju reaksi akan bergantung pada tiga hal utama berikut:

- 1) Frekuensi tumbukan
- 2) Energi partikel reaktan
- 3) Arah tumbukan

 **Energi aktivasi/pengaktifan** adalah energi minimum yang harus dimiliki reaktan, yang digunakan untuk mengaktifkan kemampuan reaksi sehingga reaktan dapat bereaksi.

 **Makna energi aktivasi:**

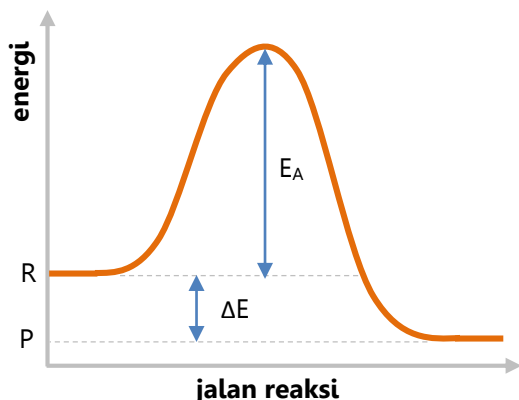
- 1) **Jika bernilai rendah**, berarti reaksi dapat terjadi pada suhu rendah.
- 2) **Jika bernilai tinggi**, berarti reaksi dapat terjadi pada suhu tinggi.

 **Energi aktivasi** disebut juga **energi penghalang**, karena reaktan harus 'didorong'

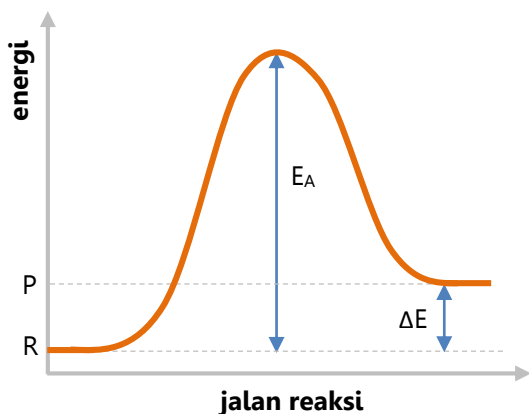
menuruni 'bukit' energi aktivasi sehingga dapat berubah menjadi produk.


 **Kurva energi aktivasi** reaksi:

1) **Energi aktivasi reaksi eksoterm**



2) **Energi aktivasi reaksi endoterm**



 **Faktor-faktor yang mempengaruhi** teori tumbukan adalah:

1) **Pengaruh konsentrasi dan luas permukaan**

- Konsentrasi dan luas permukaan **berbanding lurus** dengan frekuensi tumbukan.
- **Makin besar konsentrasi reaktan**, makin banyak jumlah partikel, sehingga partikel yang saling bertumbukan makin banyak.
- **Makin luas permukaan bidang**, maka makin luas pula bidang sentuh tumbukan, sehingga akan terjadi tumbukan yang lebih banyak.

2) **Pengaruh suhu**

- Suhu **berbanding lurus** dengan energi kinetik rata-rata partikel reaktan.
- **Peningkatan suhu** meningkatkan energi kinetik rata-rata molekul, sehingga jumlah molekul yang mencapai energi aktivasi (bertumbukan) bertambah.

3) **Pengaruh katalis**

- **Katalis** adalah zat yang dapat mempercepat laju reaksi. Katalis

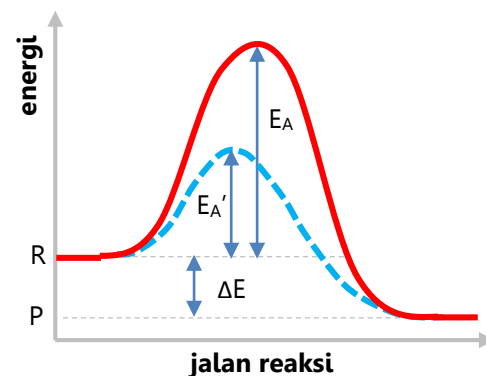
memperbanyak jumlah tumbukan karena menurunkan energi aktivasi.

- **Sifat-sifat katalis:**

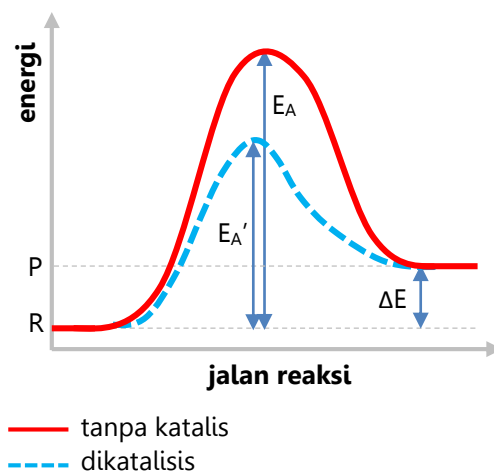
1. Terlibat dalam jalannya reaksi, namun jumlahnya tidak berubah.
2. Mempercepat laju reaksi, namun tidak mengubah komposisi produk.
3. Menurunkan energi aktivasi, tapi tidak menurunkan perubahan entalpi.
4. Hanya dapat mengkatalisis reaksi tertentu.
5. Dibutuhkan dalam jumlah sedikit.
6. Dapat diracuni zat tertentu.

- **Kurva energi aktivasi** reaksi yang dikatalisis:


Energi aktivasi reaksi eksoterm



Energi aktivasi reaksi endoterm



G. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI LAJU REAKSI

 **Dalam eksperimen** untuk membuktikan faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi, terdapat:


- 1) **Variabel bebas/manipulasi**, yaitu variabel yang dapat diubah-ubah dalam eksperimen. Contoh: ukuran keping pualam (faktor luas permukaan), konsentrasi zat (faktor konsentrasi).


- 2) **Variabel terkontrol**, yaitu variabel yang dibuat tetap dalam seluruh eksperimen.

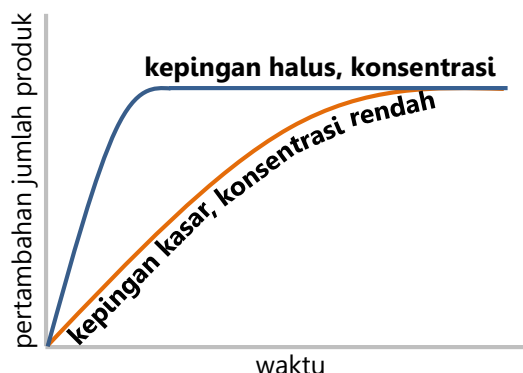
Contoh: larutan yang diubah-ubah konsentrasinya, walaupun konsentrasi-nya berubah, jenis larutannya tetap.


- 3) **Variabel terikat/respons**, yaitu variabel yang dihasilkan eksperimen.


Contoh: dari seluruh eksperimen terhadap faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi, dihasilkan data berupa laju reaksi dan lama reaksi (waktu).

 **Berdasarkan teori tumbukan**, cepat lambatnya laju reaksi dipengaruhi oleh luas permukaan, konsentrasi reaktan, suhu dan katalis.


 **Luas permukaan** adalah luas bidang sentuh tempat terjadinya reaksi antara dua reaktan. Luas permukaan **berbanding lurus** dengan laju reaksi.




 **Benda yang permukaannya luas/halus** mempercepat laju reaksi, karena bidang sentuh lebih luas, sehingga lebih banyak tumbukan yang dapat terjadi.


 **Benda yang permukaannya sempit/kasar** memperlambat laju reaksi, karena bidang sentuh lebih sempit, sehingga lebih sedikit tumbukan yang dapat terjadi.

 **Konsentrasi reaktan berbanding lurus** dengan laju reaksi.

 **Semakin besar konsentrasi reaktan**, maka semakin banyak jumlah partikel dalam suatu zat, sehingga partikel yang saling bertumbukan makin banyak, dan reaksi berlangsung lebih cepat.

 **Suhu berbanding lurus** dengan laju reaksi.

 **Semakin tinggi suhu**, maka makin besar energi kinetik rata-rata partikel reaktan, sehingga banyak molekul yang mencapai energi aktivasi (bertumbukan) bertambah, dan mempercepat laju reaksi.

 **Pengaruh suhu** terhadap laju reaksi dapat dihitung:

$$v' = (n)^{\frac{\Delta T}{X}} \cdot v_0$$

v' = laju reaksi akhir

n = kelipatan pertambahan laju tiap X° suhu

$\Delta T = T_2 - T_1$ = perubahan suhu

X = perubahan suhu tiap kelipatan n

v_0 = laju reaksi awal

Contoh:

Jika setiap 2°C laju reaksi meningkat sebesar 2 kali, dan jika pada suhu 25°C laju reaksi adalah $2,5 \times 10^{-2} \text{ M/s}$, maka pada suhu 33°C laju reaksi nilainya menjadi?

Jawab:

$$n = 2$$


$$X = 2^\circ\text{C}$$


$$\Delta T = 33 - 25 = 8^\circ\text{C}$$

$$v' = (2)^{\frac{8}{2}} \cdot 2,5 \times 10^{-2}$$

$$v' = 2^4 \cdot 2,5 \times 10^{-2}$$

$$v' = 4 \times 10^{-1} \text{ M/s}$$

 **Katalis** adalah zat yang dapat mempercepat laju reaksi.

 **Katalis** menurunkan energi aktivasi, sehingga jumlah tumbukan bertambah banyak dan reaksi dapat diselesaikan lebih cepat.