

Laju reaksi (r)

- Perubahan konsentrasi reaktan atau produk terhadap waktu
 - Pengurangan konsentrasi reaktan
 - Penambahan konsentrasi produk

Dengan
berjalannya
waktu

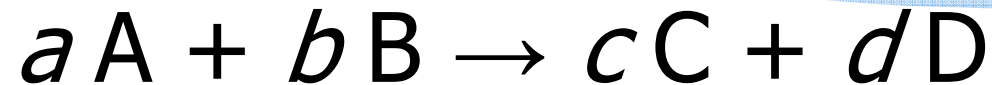
- Secara matematis, untuk reaksi:



$$\text{Laju reaksi} = r = -d[A]/dt = d[B]/dt$$



Laju Reaksi & Stoikiometri



Laju reaksi = laju hilangnya reaktan

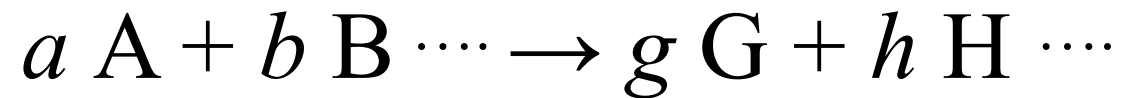
$$= -\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

= laju munculnya produk

$$= \frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

Pengaruh Konsentrasi terhadap Laju: Hukum Laju

3



Laju reaksi = $k [A]^m [B]^n \cdots$

Tetapan laju reaksi = k

Orde/tingkat reaksi terhadap A = m

Orde/tingkat reaksi terhadap B = n

Orde/tingkat reaksi total = $m + n + \cdots$



Orde reaksi (m)

- ❑ Menunjukkan tingkat pengaruh konsentrasi reaktan terhadap laju.

$$r = k [A]^m ; [A] = \text{konsentrasi reaktan}$$

- ❑ Harus ditentukan melalui eksperimen, tidak terkait dengan stoikiometri reaksi.
- ❑ Pengetahuan mengenai orde reaksi memungkinkan kita memperkirakan mekanisme reaksi.

Orde reaksi (m) - Secara intuitif ...

- ❑ Reaksi orde 0:
menaikkan/menurunkan konsentrasi tidak mempengaruhi laju reaksi
- ❑ Reaksi orde 1:
menaikkan konsentrasi 1 x akan menaikkan laju reaksi 1 x & sebaliknya.
- ❑ Reaksi orde 2:
menaikkan konsentrasi 1 x akan menaikkan laju reaksi 2x & sebaliknya.



Orde Reaksi – Pengertian Intuitif



**Desain Eksperimen
Penentuan Orde Reaksi**



**Metode Laju Reaksi Awal
(*Initial rate method*)**

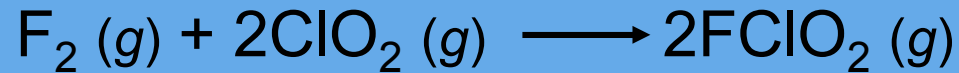
Metode Laju Reaksi Awal (*Initial rate method*)

Variasi konsentrasi awal reaktan tertentu



Periksa pengaruhnya terhadap laju awal

- ❑ Lakukan untuk semua reaktan
- ❑ Ingat prinsip desain eksperimen:
 - ❖ variasi 1 faktor
 - ❖ jaga faktor lain tetap



8

$$\text{laju} = k [\text{F}_2]^x [\text{ClO}_2]^y$$

Table 13.2 Rate Data for the Reaction between F_2 and ClO_2

	$[\text{F}_2](M)$	$[\text{ClO}_2](M)$	Initial Rate (M/s)
1.	0.10	0.010	1.2×10^{-3}
2.	0.10	0.040	4.8×10^{-3}
3.	0.20	0.010	2.4×10^{-3}

$[\text{F}_2]$ meningkat dua kali dan $[\text{ClO}_2]$ konstan

Laju meningkat dua kali

$$x = 1$$

$[\text{ClO}_2]$ meningkat empat kali dan $[\text{F}_2]$ konstan

Laju meningkat empat kali

$$\text{laju} = k [\text{F}_2][\text{ClO}_2]$$

$$y = 1$$

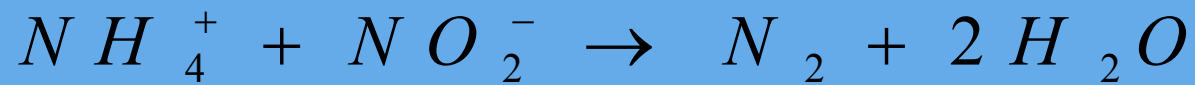


Metode Laju Reaksi Awal (Initial rate method)

Berdasarkan data eksperimen berikut, tentu orde reaksi terhadap HgCl_2 maupun $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$

TABLE 15.3 Kinetic Data for the Reaction:
 $2 \text{HgCl}_2 + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \longrightarrow 2 \text{Cl}^- + 2 \text{CO}_2 + \text{Hg}_2\text{Cl}_2$

Experiment	$[\text{HgCl}_2], \text{M}$	$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}], \text{M}$	Initial rate, M min^{-1}
1	$[\text{HgCl}_2]_1 = 0.105$	$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]_1 = 0.15$	1.8×10^{-5}
2	$[\text{HgCl}_2]_2 = 0.105$	$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]_2 = 0.30$	7.1×10^{-5}
3	$[\text{HgCl}_2]_3 = 0.052$	$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]_3 = 0.30$	3.5×10^{-5}



$$-\frac{d [N H_4^+]}{d t} = k [N H_4^+]^n [N O_2^-]^m$$

Experiment s	NH_4^+	NO_2^-	Initial Rate
1	0.1M	0.005M	1.35×10^{-7}
2	0.1M	0.01M	2.70×10^{-7}
2	0.2M	0.01M	5.40×10^{-7}


Tentukan m dan n!



Jika $m = 0$,

11

bagaimana bentuk integral pers. laju?

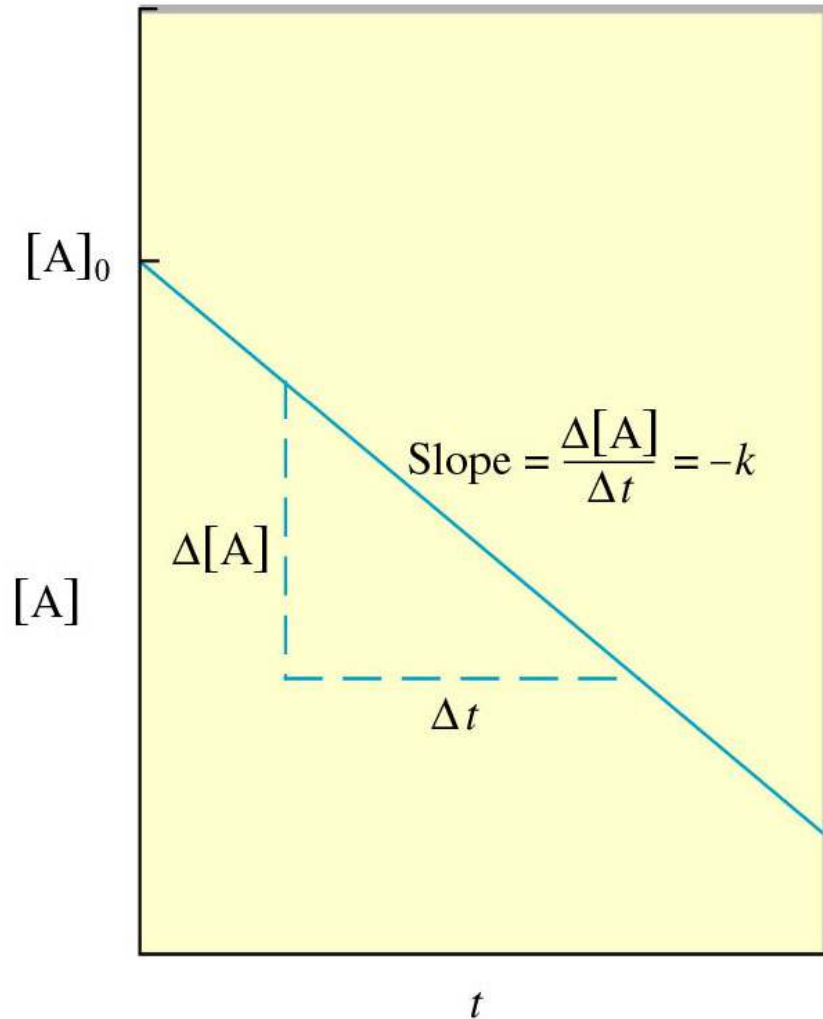
$$\int d[A] = -k \int dt$$


$$[A] = -kt + c$$

$$[A]_2 - [A]_1 = -k(t_2 - t_1)$$

$$[A]_1 - [A]_2 = k(t_2 - t_1)$$

Orde 0: [A] vs t; garis lurus



Pers. Garis:
 $[A] = -kt + c$

Menentukan k:
 $k = -\text{slope}$

Intersep $c = [A]_0$

Jika $m = 1$,

13

bagaimana bentuk integral pers. laju?

$$\int \frac{d[A]}{A} = -k \int dt$$

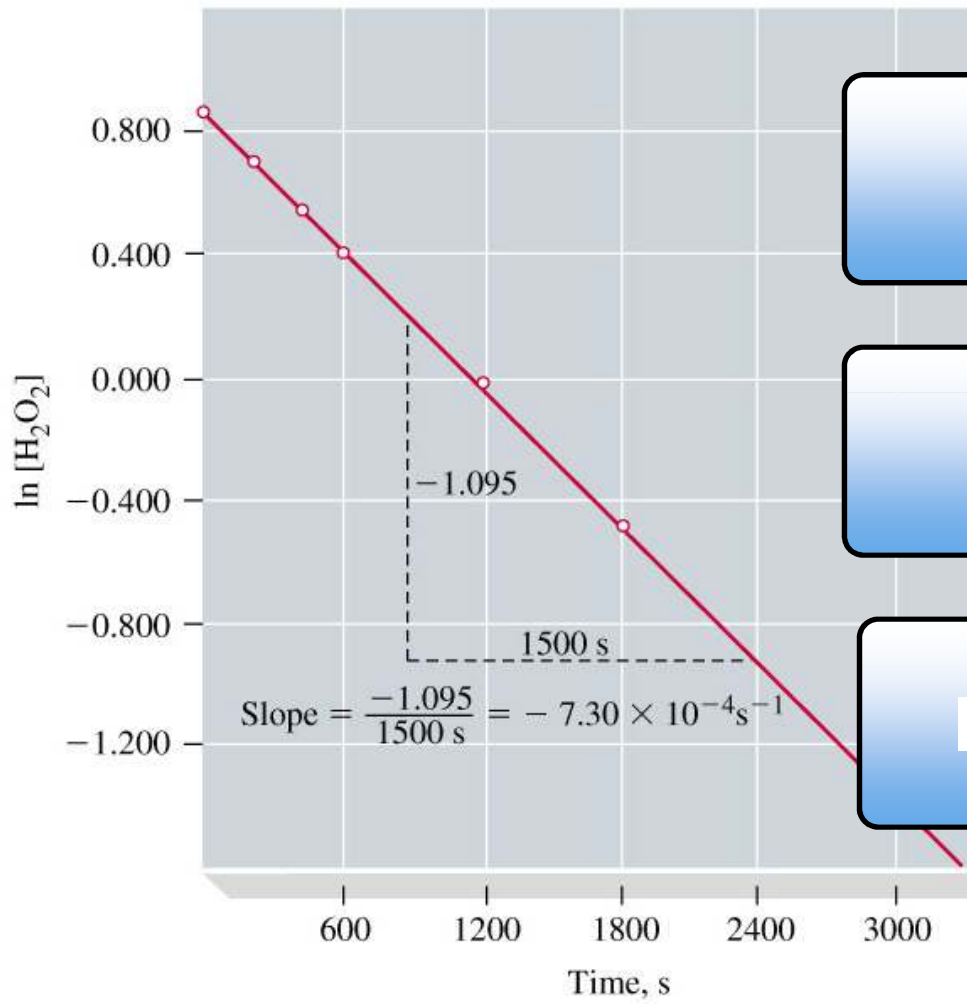
$$\ln [A] = -k t + C$$

$$\ln \frac{[A_2]}{[A_1]} = -k (t_2 - t_1)$$

$$\ln \frac{[A_1]}{[A_2]} = k (t_2 - t_1)$$



Orde 1: $\ln [A]$ vs t ; garis lurus

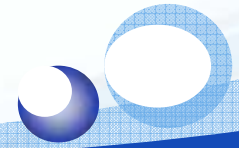


Pers. Garis:
 $\ln [A] = -kt + c$

Menentukan k:
 $k = -\text{slope}$

Intersep $c = \ln [A]_0$

Jika $m = 2$,



15

bagaimana bentuk integral pers. laju?

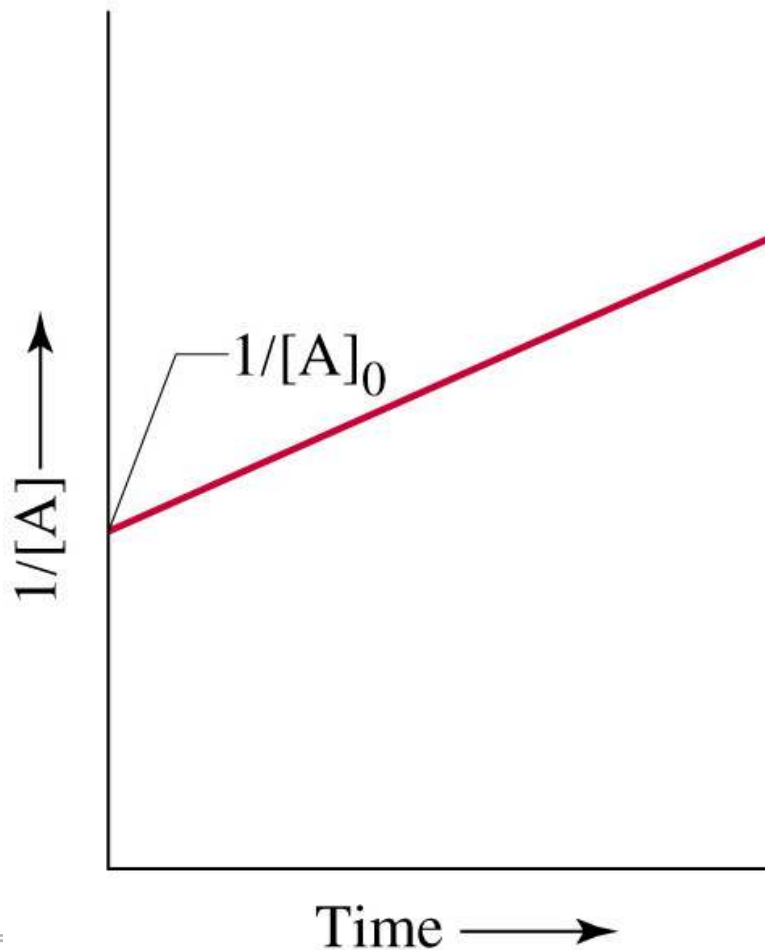
$$\int \frac{d[A]}{[A]^2} = -k \int dt$$



$$\frac{1}{[A]_2} - \frac{1}{[A]_1} = k(t_2 - t_1)$$

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

Orde 2: $1/[A]$ vs t ; garis lurus



Pers. Garis:
 $1/[A] = kt + c$

Menentukan k:
 $k = \text{slope}$

Intersep $c = 1/[A]_0$

Orde reaksi (m) = 0

- Laju reaksi tidak tergantung pada konsentrasi reaktan:



$$-d[A]/dt = k [A]^0 = k$$

$$[A] = -kt + C$$

- Umumnya terjadi pada dekomposisi termal.

- Contoh:

Dekomposisi HI menjadi H_2 dan I_2 pada permukaan emas merupakan reaksi orde 0 terhadap HI.

Orde reaksi (m) = 1

- Laju reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi reaktan:



$$- d[A]/dt = k [A]^1 = k [A]$$

$$\ln [A] = -kt + C$$

- Contoh:

Pembentukan butil alkohol dari butil klorida dan air merupakan reaksi orde 1 terhadap butil klorida.



Orde reaksi (m) = 2

- Laju reaksi berbanding lurus dengan pangkat dua konsentrasi reaktan:



$$- d[A]/dt = k [A]^2$$

$$1 / [A] = kt$$

- Contoh:

Dekomposisi NO_2 merupakan reaksi orde dua terhadap NO_2 .



Pers. Laju Reaksi

Bentuk
Diferensial:
 $-d[A]/dt = [A]^m$

Bentuk
Integral:
mis. Orde 1:
 $\ln [A] = -kt + \ln [A_0]$

Laju sesaat
sebagai fungsi
konsentrasi

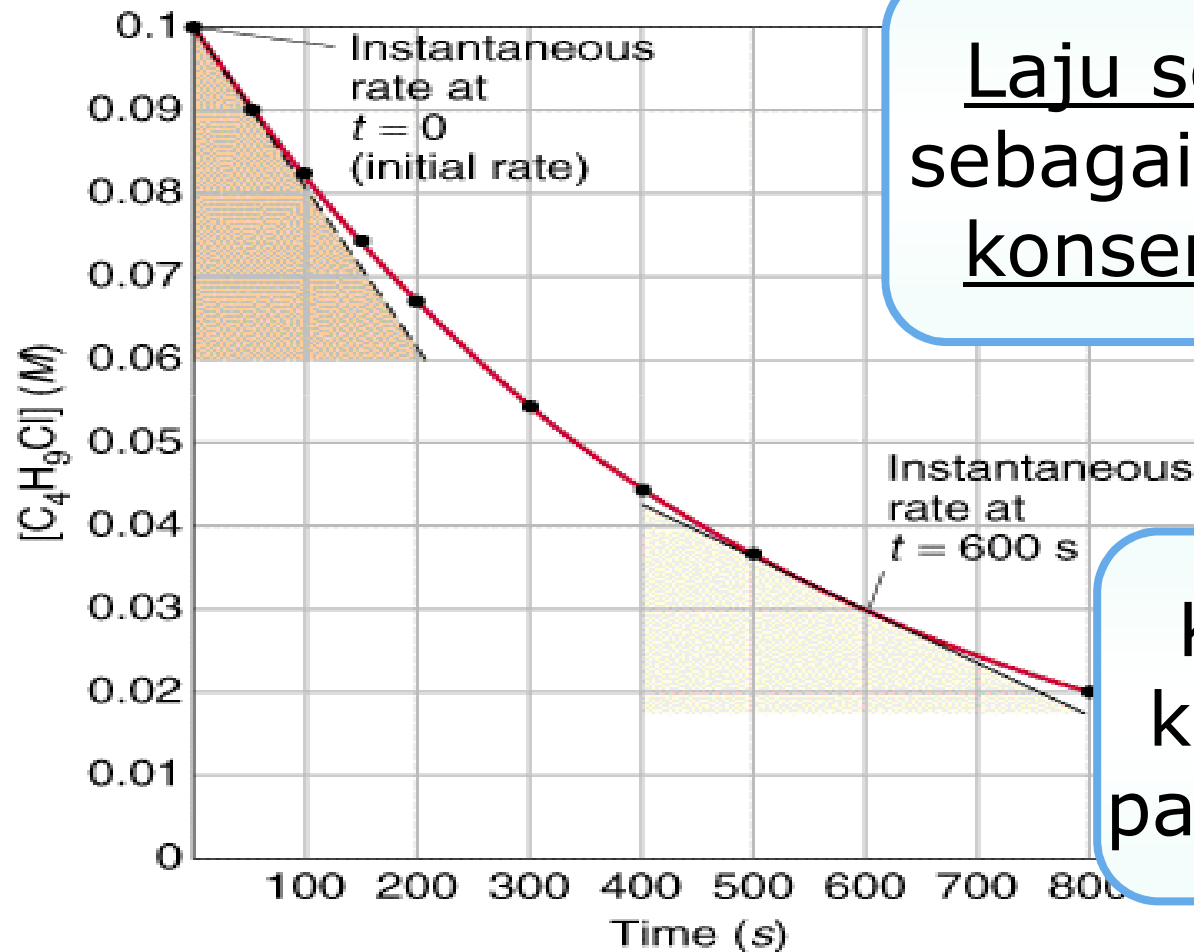
Konsentrasi
sebagai
fungsi waktu

Ikhtisar Pers. Laju Reaksi

Orde	0	1	2
Hukum Laju (Diferensial)	$-\frac{d[A]}{dt} = k$	$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$	$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$
Hukum Laju (Integral)	$[A] = [A]_0 - k t$	$[A] = [A]_0 e^{-kt}$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + k t$
Plot Garis Lurus	$[A]$ vs t	$\ln [A]$ vs t	$1/[A]$ vs t
k	- slope	- slope	slope
Satuan k	M/s	1/s	1/(M.s)



Bentuk diferensial = $-d[A]/dt$



Laju sesaat
sebagai fungsi
konsentrasi

Kemiringan
kurva [A] v t
pada t tertentu

Bentuk Integral: untuk menentukan m & k

1

Lakukan reaksi dengan $[A]_0$ tertentu.

2

Cek $[A]_t$ tiap selang waktu tertentu

3

Buat plot:
1. $[A]$ vs t
2. $\ln [A]$ vs t
3. $1/[A]$ vs t

Bentuk Integral: untuk menentukan m & k

24

4

Cek
kelurusan
ketiga
grafik
(koefisien
korelasi
~ +/-1)

5

Garis lurus
menunjukkan
orde reaksi
(m) yang
sesuai

6

Hitung k

Laju sesaat: dapat dihitung jika m & k diketahui

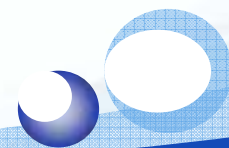
$$- d[A]/dt = k [A]^m$$

Laju sesaat

Konstanta laju

Orde reaksi

Plot garis lurus
bentuk integral yang sesuai



Tentukan orde reaksi thd butil klorida

Rate Data for Reaction of C_4H_9Cl with Water

Time, t (s)	$[C_4H_9Cl]$ (M)		Average Rate (M/s)
0.0	0.1000		1.9×10^{-4}
50.0	0.0905		1.7×10^{-4}
100.0	0.0820		1.6×10^{-4}
150.0	0.0741		1.4×10^{-4}
200.0	0.0671		1.22×10^{-4}
300.0	0.0549		1.01×10^{-4}
400.0	0.0448		0.80×10^{-4}
500.0	0.0368		0.560×10^{-4}
800.0	0.0200		

Waktu paruh (*half-life*); $t_{1/2}$

- Waktu yang diperlukan agar konsentrasi reaktan menjadi setengah dari konsentrasi awal.

- $[A]_{t_{1/2}} = \frac{1}{2} [A]_0$

- Untuk reaksi orde 1:

$$\ln [A]_{t_{1/2}} = \ln [A]_0 - kt_{1/2}$$

$$\ln \frac{1}{2} [A]_0 = \ln [A]_0 - kt_{1/2}$$

$$k t_{1/2} = \ln 2$$

$$t_{1/2} = \ln 2 / k \longrightarrow t_{1/2} \text{ reaksi orde 1 tetap}$$

$$\ln 2 = 0,693$$



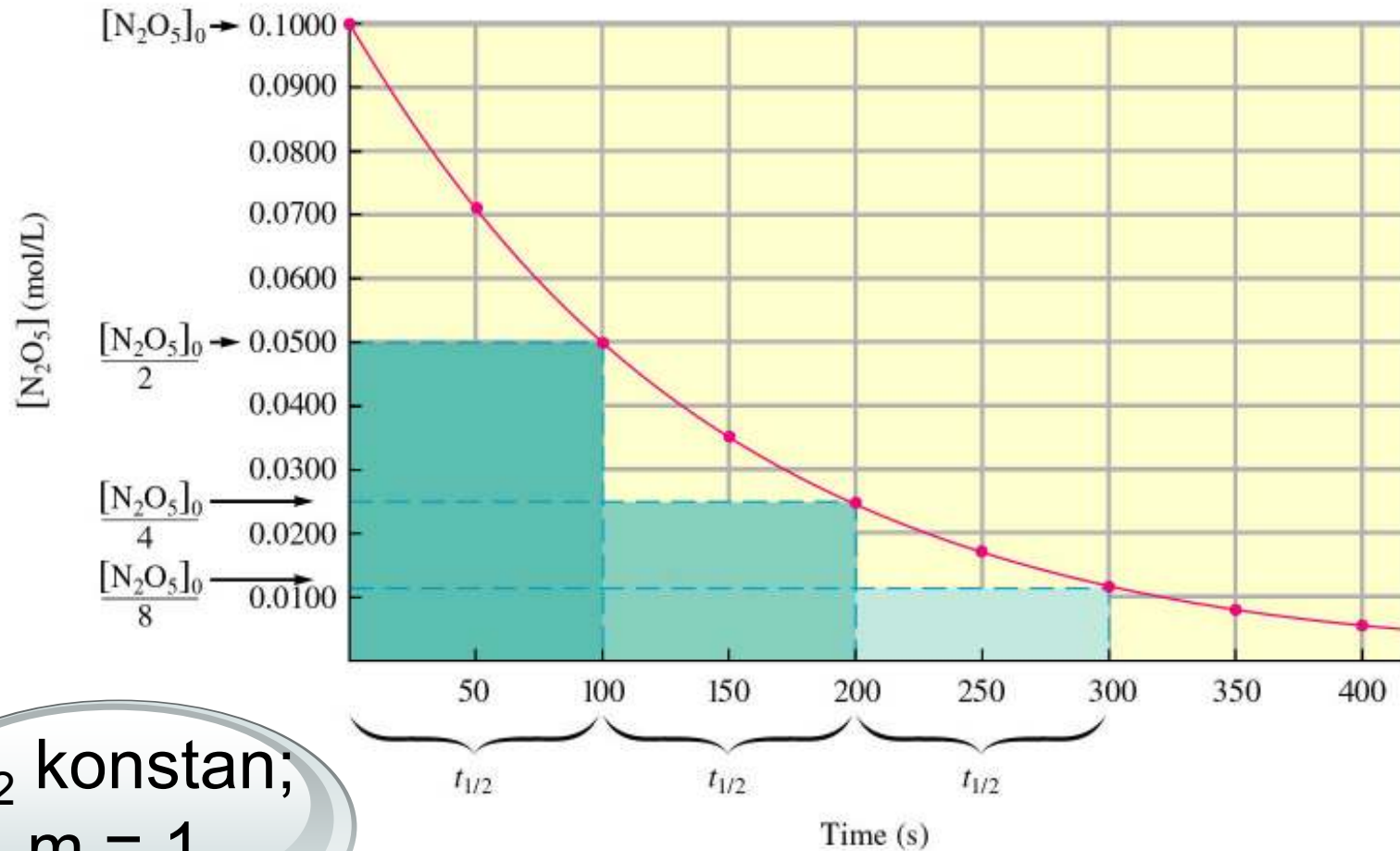
$t_{1/2}$ untuk orde 0, 1, dan 2

Orde	$t_{1/2}$
0	$[A]_0 / 2k$
1	$\ln 2 / k$
2	$1 / ([A]_0 \cdot k)$

Dideduksi dari pers. Laju reaksi

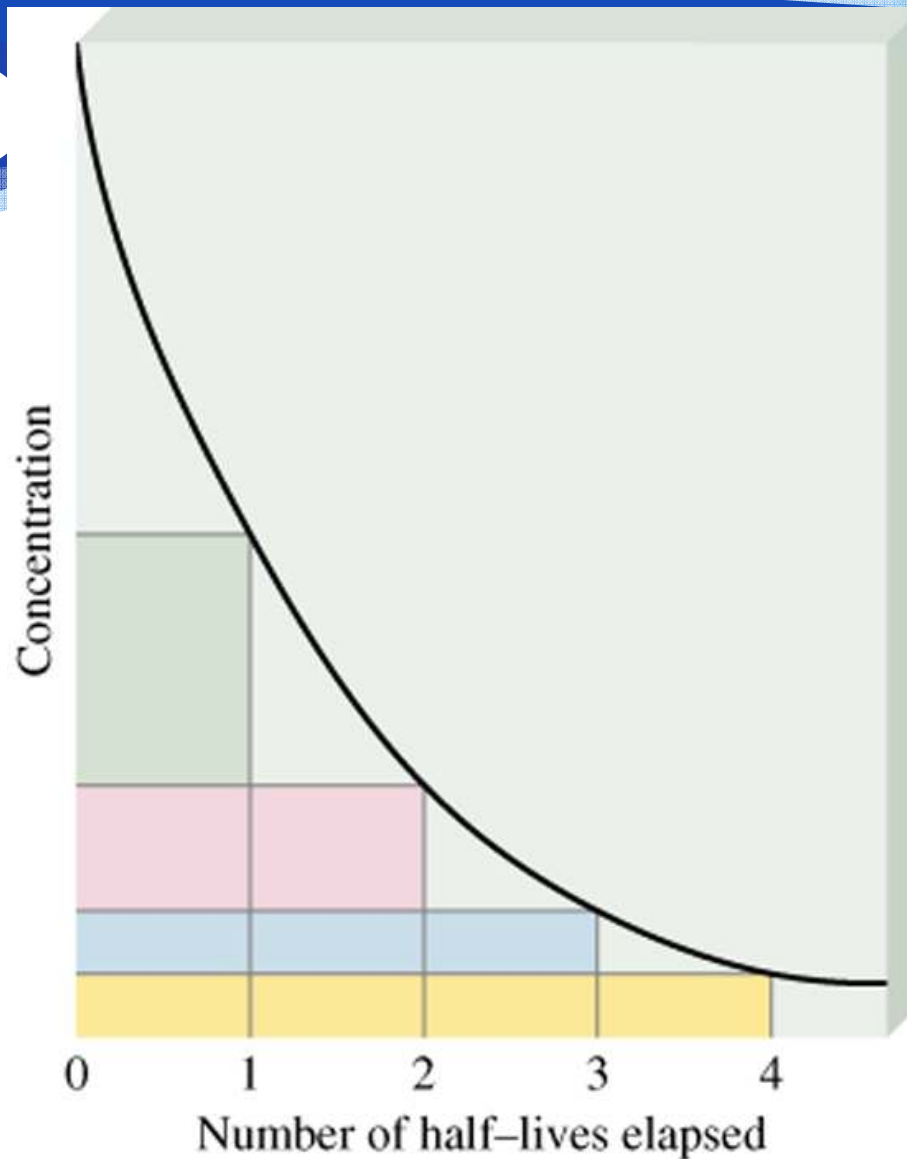
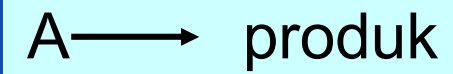


Contoh Plot N_2O_5 vs waktu



$t_{1/2}$ konstan;
 $m = 1$

Reaksi orde-pertama



<u>jumlah waktu-paruh</u>	<u>$[A] = [A]_0/n$</u>
1	2
2	4
3	8
4	16