



LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA  
Universitas Gadjah Mada (UGM)

## KINETIKA KIMIA Penentuan Laju Reaksi Bagian 1. Penjabaran persamaan

Drs. Iqmal Tahir, M.Si.

Laboratorium Kimia Fisika., Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281

Tel : 087 838 565 047; Fax : 0274-565188

Email :

iqmal@ugm.ac.id

atau

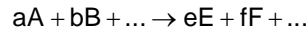
iqmal.tahir@yahoo.com

Website :

http://iqmal.staff.ugm.ac.id  
http://iqmaltahir.wordpress.com

### PENENTUAN LAJU REAKSI

Untuk reaksi umum :



Laju reaksi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{laju} = r = k \cdot [A]^x \cdot [B]^y \dots$$

dengan : k = konstanta laju reaksi  
x,y = order reaksi untuk A dan B  
x+y = order reaksi total

Catatan : **Order reaksi tidak sama dengan koefisien reaksi seimbang.**

Penentuan order reaksi secara praktis :

- Metoda pengukuran laju awal
  - Pendekatan waktu paro
  - Metoda Powell-Plot
  - Metoda isolasi
  - Penentuan laju reaksi dengan grafik
- Penentuan ini dapat dilakukan dari hasil penjabaran laju reaksi berdasarkan penyelesaian integral matematik.



LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

### Penjabaran integrasi persamaan laju reaksi

$$r = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \dots = \frac{1}{e} \frac{d[E]}{dt} = \frac{1}{f} \frac{d[F]}{dt} = \dots$$

Persamaan diintegrasikan untuk mencari nilai [A] sebagai fungsi waktu atau  $[A] = g(t)$

Asumsi :

- Reaksi selalu berlangsung pada temperatur konstan (T konstan maka k juga konstan)
- Volume konstan
- Reaksi berlangsung secara ireversibel ( $k^0$  relatif sangat besar)



LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

### Reaksi order satu

Untuk reaksi order satu  $aA \rightarrow P$  dengan  $r = k[A]$

$$r = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \dots = \frac{1}{e} \frac{d[E]}{dt} = \frac{1}{f} \frac{d[F]}{dt} = \dots$$

$$r = k[A]^\alpha [B]^\beta \dots [L]^\gamma$$

$$r = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

$$\begin{aligned} \text{Didefinisikan } k_A &\equiv ak & \frac{d[A]}{dt} &= -k_A[A] \\ \frac{d[A]}{[A]} &= -k_A dt & \int_1^2 \frac{d[A]}{[A]} &= -\int_1^2 k_A dt \end{aligned}$$



LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

### Reaksi order satu

$$\int_1^2 \frac{d[A]}{[A]} = -\int_1^2 k_A dt$$

$$\ln([A]_2/[A]_1) = -k_A(t_2 - t_1)$$

jika  $[A]_1 = [A]_0$  pada  $t_1 = 0$  dan  $[A]_2 = [A]$  pada  $t_2 = t$

$$\text{Hasil integrasi} \quad \left\{ \begin{aligned} \ln \frac{[A]}{[A]_0} &= -k_A t \\ [A] &= [A]_0 e^{-k_A t} \end{aligned} \right.$$

Konsentrasi A dan laju reaksi untuk reaksi order satu akan menurun secara eksponensial seiring dengan waktu.



LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

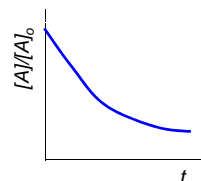
### Reaksi order satu

$$[A] = [A]_0 e^{-k_A t}$$

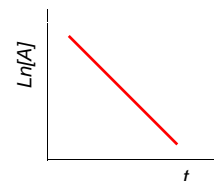
$$\frac{[A]}{[A]_0} = e^{-k_A t}$$

$$\ln[A] = \ln[A]_0 - k_A t$$

$$\ln[A]_0/[A] = k_A t$$



Reaksi order satu:  $[A]/[A]_0$  vs  $t$



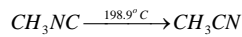
Reaksi order satu:  $\ln[A]$  vs  $t$



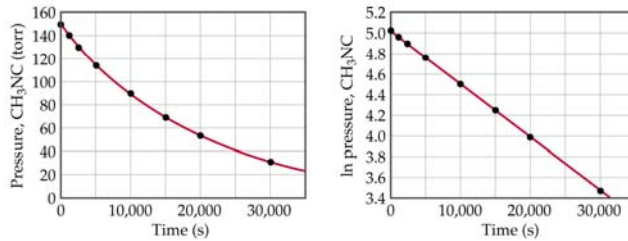
LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

**Contoh : Reaksi order satu (terhadap satu komponen)**

Reaksi transformasi isomerik metil isonitril menjadi asetonitril



$$\ln C = -kt + \ln C_0$$

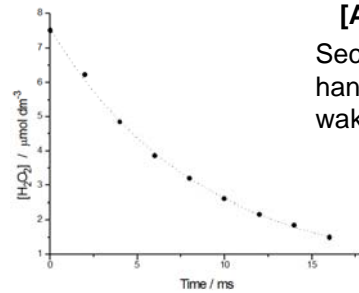


LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

**Reaksi order satu****Kapan reaksi sempurna?**

$$[A] = [A]_0 \exp\{-kt\}$$

Secara teknis  $[A]=0$   
hanya tercapai setelah  
waktu tak terhingga.



LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

**Reaksi order satu (contoh)**

Tekanan parsial gas azometan dengan variasi waktu dituliskan pada data di bawah ini, dilakukan pada temperatur 600 K. Reaksi dekomposisi :



Reaksi ini mengikuti reaksi order satu.

t/detik	0	1.000	2.000	3.000	4.000
P/P <sub>0</sub> · 10 <sup>-2</sup>	8,20	5,72	3,99	2,78	1,94

Tentukanlah konstanta laju reaksi pada temperatur tersebut!

Jawab :

Dibuat data  $\ln(P/P_0)$  kemudian dibuat grafik  $\ln(P/P_0)$  lawan t akan didapatkan garis lurus kemudian tentukan slope =  $-3,6 \times 10^{-4}$  maka harga  $k = 3,6 \times 10^{-4} \text{ detik}^{-1}$ .

LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

**Reaksi order satu (waktu paro)**

Waktu paro  $t_{1/2}$

$$t = t_{1/2} \quad [A] = 1/2[A]_0$$

$$\ln \frac{[A]}{[A]_0} = -k_A t$$

$$\ln \frac{1/2[A]_0}{[A]_0} = -k_A t_{1/2} \quad \Rightarrow \quad \ln 1/2 = -k_A t_{1/2}$$

$$k_A t_{1/2} = \ln 2 = 0,693 \quad \text{Reaksi order satu}$$

$$t_{1/2} = 0,693 / k_A \quad \text{Tidak tergantung terhadap } [A]_0$$

LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

**Reaksi order satu (contoh)**

Reaksi peluruhan radioaktif :  $\text{Co}^{64} \rightarrow \text{Zn}^{64} + \beta^-$  didapatkan harga umur paro  $C_0$  = 12,8 jam, maka berapa nilai konstanta laju reaksi peluruhannya ?

Jawab :

Nilai  $k$  dapat dicari dengan persamaan :

$$k = \frac{0,693}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{12,8} = 0,054 \text{ jam}^{-1}$$

$$= 195 \text{ detik}^{-1}$$

LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

**Reaksi order nol**

$$aA \rightarrow P \quad -\frac{dA}{dt} = k_A \quad \text{didefinisikan } k_A \equiv ak$$

$$d[A] = -k_A dt$$

Hasil integrasi dengan batas  $0 \rightarrow t$  dan  $[A]_0 \rightarrow [A]_t$

$$[A]_t - [A]_0 = -k_A t$$

$$k_A = -\frac{[A]_t - [A]_0}{t}$$

LABORATORIUM KIMIA FISIKA  
Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

## Reaksi order nol

Waktu paro  $t_{1/2}$

$$t = t_{1/2} \quad [A] = \frac{1}{2}[A]_0$$

$$[A]_t - [A]_0 = -k_A t \quad \frac{1}{2}[A]_0 - [A]_0 = -k_A t_{1/2}$$

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

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

## Reaksi order nol (contoh)

Suatu reaksi dengan konsentrasi awal 1 mol / L, berlangsung 50 % sempurna dalam 10 menit. Reaksi tersebut dibiarkan berlangsung 5 menit lagi. Berapa banyak sisa reaktan jika reaksi mengikuti order nol ?

Jawab :

Misal  $A_0 = 1 \text{ mol.L}^{-1}$ , separo dari  $A_0$  dipakai dalam 10 menit jadi k bisa dihitung :

$$k = \frac{(1 - 0,5) \text{ mol.L}^{-1}}{10 \text{ menit}} = 0,05 \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{menit}^{-1}$$

Setelah 5 menit berikutnya (  $t = 15$  menit)

$$A_0 - A = k \cdot t$$

$$(1 \text{ mol.L}^{-1} - A) = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{menit}^{-1} \cdot 15 \text{ menit}$$

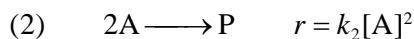
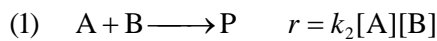
$$(1 \text{ mol.L}^{-1} - A) = 75 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$A = 1 \text{ mol.L}^{-1} - 0,75 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$= 0,25 \text{ mol.L}^{-1}$$

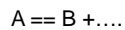
## Reaksi order dua

Ada 2 tipe :



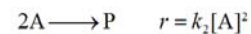
Tipe lain :

Reaksi autokatalitik pada persamaan stokhiometrik :



$$r = k_2[A][B]$$

## Reaksi order dua (tipe 2)



$$r = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$$

didefinisikan  $k_A \equiv ak$   $d[A]/dt = -k_A[A]^2$

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

$$\int_1^2 \frac{1}{[A]^2} d[A] = -k_A \int_1^2 dt$$

## Reaksi order dua (tipe 2)

$$\int_1^2 \frac{1}{[A]^2} d[A] = -k_A \int_1^2 dt$$

$$\frac{1}{[A]_1} - \frac{1}{[A]_2} = -k_A(t_2 - t_1) \quad \frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = k_A t$$

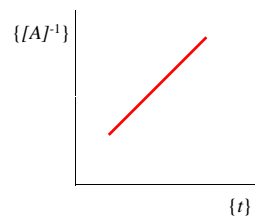
$$[A] = \frac{[A]_0}{1 + k_A t [A]_0} \quad k_A \equiv ak$$

Plot  $1/[A]$  lawan  $t$  akan menghasilkan garis lurus dengan slope  $= k_A$

$$r = k[A]^2$$

## Reaksi order dua (tipe 2)

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + k_A t \quad \leftarrow \quad \frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = k_A t$$



Waktu paro:  $t_{1/2}$

$$t = t_{1/2} \quad [A] = 1/2[A]_0$$

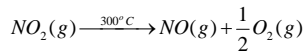
$$t_{1/2} = \frac{1}{[A]_0 k_A}$$

Untuk reaksi order dua

$$r = k[A]^2$$

Second-order reaction:  $1/[A]$  vs  $t$

**Dekomposisi nitrogen dioksida pada fase gas**



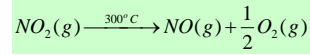
Time / s	[NO <sub>2</sub> ] / M
0.0	0.01000
50.0	0.00787
100.0	0.00649
200.0	0.00481
300.0	0.00380

Tunjukkan apakah reaksi mengikuti order satu atau order dua ?

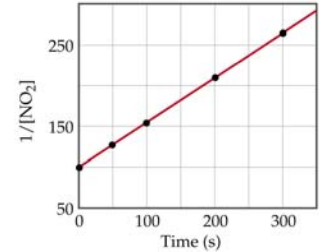
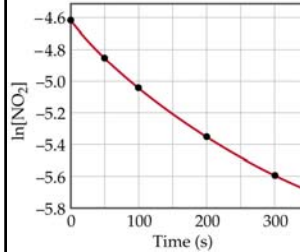
**k = 0.543 (satuan ?)**



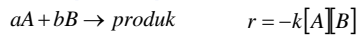
**Contoh : Reaksi order dua**



$$\frac{1}{C} = kt + \frac{1}{C_0}$$



**Reaksi order dua (tipe 1)**

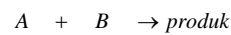


$$\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -k[A][B]$$

Tiga variabel



**Reaksi order dua (tipe 1)**



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

$$t=0 \quad [A]_0 \quad [B]_0 \quad 0$$

$$t=t \quad [A]_0 - x \quad [B]_0 - x \quad x$$

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A][B] = -k([A]_0 - x)([B]_0 - x) \quad \frac{d[A]}{dt} = -\frac{dx}{dt}$$

$$\frac{dx}{dt} = k([A]_0 - x)([B]_0 - x) \quad x=0 \text{ untuk } t=0$$

$$\frac{dx}{([A]_0 - x)([B]_0 - x)} = k dt \quad \int_0^x \frac{dx}{([A]_0 - x)([B]_0 - x)} = \int_0^t k dt$$



**Reaksi order dua (tipe 1)**

$$\int_0^x \frac{dx}{([A]_0 - x)([B]_0 - x)} = \int_0^t k dt = kt$$

$$\int_0^x \frac{dx}{([A]_0 - x)([B]_0 - x)} = \frac{1}{[B]_0 - [A]_0} \int_0^x \left( \frac{1}{[A]_0 - x} - \frac{1}{[B]_0 - x} \right) dx$$

$$= \frac{1}{[B]_0 - [A]_0} \left\{ \ln \left( \frac{[A]_0}{[A]_0 - x} \right) - \ln \left( \frac{[B]_0}{[B]_0 - x} \right) \right\}$$

$$\frac{1}{[B]_0 - [A]_0} \left\{ \ln \left( \frac{[A]_0}{[A]_0 - x} \right) - \ln \left( \frac{[B]_0}{[B]_0 - x} \right) \right\} = kt$$

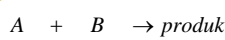
$$[A] = [A]_0 - x$$

$$[B] = [B]_0 - x$$

$$\frac{1}{[B]_0 - [A]_0} \ln \left( \frac{[B]_0/[B]_0}{[A]_0/[A]_0} \right) = kt$$



**Reaksi order dua (tipe 1)**



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

Jika  $[A]_0 = [B]_0$

$$\int_0^x \frac{dx}{([A]_0 - x)([B]_0 - x)} = \int_0^x \frac{dx}{([A]_0 - x)^2} = \int_0^t k dt = kt$$

$$\int_0^x \frac{dx}{([A]_0 - x)^2} = \frac{1}{[A]_0 - x} - \frac{1}{[A]_0} = kt$$

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

Waktu paro:  $t_{1/2}$

$$t = t_{1/2} \quad [A] = 1/2[A]_0$$

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



## Reaksi autokatalitik order dua

Reaksi autokatalitik order 2 pada persamaan stoikiometri :  
 $A \rightarrow B + \dots$        $r = k_2[A][B]$

Contoh model kinetik ini dapat terjadi pada hidrolisa ester yang melibatkan katalis asam dari hasil reaksi tersebut. Hidrolisa ester sederhana akan menghasilkan salah satunya asam karboksilat dan molekul asam akan terdisosiasi menghasilkan ion hidrogen ( $H^+$ ) yang kemudian dapat berfungsi sebagai katalis.

Bila reaksi permulaan hanya ada A saja, maka  $B_0$  mula-mula = 0. Gambar grafik menunjukkan bahwa B sebagai fungsi t, yang berbentuk huruf S dan merupakan ciri khas reaksi auto katalitik.

$$r = k_2[A][B] \quad \text{dimana} \quad A_0 - A = B - B_0$$

$$\text{maka} \quad B = B_0 + A_0 - A$$

$$\text{Hasil integrasinya memberikan :} \quad \frac{1}{B_0 + A_0} \ln \frac{A_0 B}{B_0 A} = kt$$

## Reaksi autokatalitik order dua

$$\frac{1}{B_0 + A_0} \ln \frac{A_0 B}{B_0 A} = kt$$

$$\frac{A_0 B}{B_0 A} = e^{kt(A_0 + B_0)t}$$

$$A = (A_0 + B_0 - B)$$

$$A_0 B = B_0 (A_0 + B_0 - B) e^{kt(A_0 + B_0)t}$$

$$B(A_0 + B_0 + B e^{kt(A_0 + B_0)t}) = B_0 (A_0 + B_0) e^{kt(A_0 + B_0)t}$$

$$B = \frac{B_0 (A_0 + B_0) e^{kt(A_0 + B_0)t}}{A_0 + B_0 + B_0 e^{kt(A_0 + B_0)t}}$$

dibagi dengan  $B_0 e^{kt(A_0 + B_0)t}$

maka

$$B = \frac{(A_0 + B_0)}{1 + \left(\frac{A_0}{B_0}\right) e^{-kt(A_0 + B_0)t}}$$

## Reaksi order tiga

Ada 3 tipe :

**Tipe 1 :**  $3A \rightarrow \text{produk}$        $\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^3$

**Tipe 2 :**  $A + B \rightarrow \text{produk}$        $\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^2[B]$

atau  $2A + B \rightarrow \text{produk}$        $\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^2[B]$

**Tipe 3 :**  $A + B + C \rightarrow \text{produk}$        $\frac{d[A]}{dt} = -k[A][B][C]$

## Reaksi order tiga (tipe 1)

**Tipe 1 :**  $3A \rightarrow \text{produk}$        $\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^3$

$$\frac{d[A]}{[A]^3} = -k_A dt$$

Penyelesaian persamaan integrasi :

$$\frac{1}{[A]^2} - \frac{1}{[A]_0^2} = 2k_A t \quad [A] = \frac{[A]_0}{(1 + 2kt[A]_0^2)^{1/2}}$$

## Reaksi order tiga (tipe 2)

**Tipe 2 :**  $A + B \rightarrow \text{produk}$

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^2[B] \quad \text{Dimana} \quad A_0 - A = B_0 - B$$

maka:

$$-\frac{dA}{dt} = kA^2(B_0 - A_0 + A)$$

Bentuk integrasi dari persamaan tersebut adalah :

$$\frac{1}{B_0 - A_0} \left[ \frac{1}{A} - \frac{1}{A_0} \right] + \frac{1}{(B_0 - A_0)^2} \ln \frac{A_0 B_0}{A_0 B} = kt$$

dimana  $A_0$  dan  $B_0$  adalah konsentrasi A dan B pada waktu  $t = 0$ .

## Reaksi order tiga (tipe 2)

**Tipe 2 :**  $2A + B \rightarrow \text{produk}$

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^2[B] \quad A_0 - A = 2(B_0 - B) \quad \text{dan} \quad B = B_0 - \frac{A_0}{2} + \frac{A}{2}$$

$$-\frac{dA}{dt} = k[A]^2 \left( B_0 - \frac{A_0}{2} + \frac{A}{2} \right)$$

Bentuk integrasi dapat dilakukan dengan cara :

$$\frac{1}{A^2 \left( B_0 - \frac{A_0}{2} + \frac{A}{2} \right)} = \frac{p}{A^2} + \frac{q}{A} + \frac{r}{B_0 - \frac{A_0}{2} + \frac{A}{2}}$$

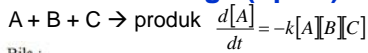
Dari penjabaran ini maka konstanta p, q dan r dapat ditentukan kemudian diintegrasikan

maka akan didapatkan persamaan akhir :

$$\frac{2}{(2B_0 - A_0) \left( \frac{1}{A} - \frac{1}{A_0} \right)} + \frac{2}{(2B_0 - A_0)^2} \ln \frac{B_0 A}{A_0 B} = kt$$

Persamaan ini banyak terjadi pada reaksi antara NO dengan  $O_2$ , atau  $Cl_2$  atau  $Br_2$ .

### Reaksi order tiga (tipe 3)



Bila :

$A_0 - A = B_0 - B = C_0 - C$

sehingga laju reaksi menjadi:

maka  $B = B_0 - A_0 + A$  dan  $C = C_0 - A_0 + A$   $-\frac{dA}{dt} = k(B_0 - A_0 + A)(C_0 - A_0 + A)$

Penyelesaian persamaan integrasi :

$\frac{1}{(B_0 - A_0)(C_0 - A_0)} \ln \frac{A}{A_0} + \frac{1}{(A_0 - B_0)(C_0 - B_0)} \ln \frac{B}{B_0} + \frac{1}{(A_0 - C_0)(B_0 - C_0)} \ln \frac{C}{C_0} = kt$

atau

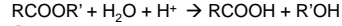
$\frac{1}{(A_0 - B_0)(B_0 - C_0)(C_0 - A_0)} \ln \left( \frac{A}{A_0} \right)^{(B_0 - C_0)} \left( \frac{B}{B_0} \right)^{(C_0 - A_0)} \left( \frac{C}{C_0} \right)^{(A_0 - B_0)} = kt$

### Reaksi order semu

Berlaku pada reaksi dimana konsentrasi satu spesies relatif jauh lebih besar dari konsentrasi reaktan lainnya, atau salah satu reaktan bekerja sebagai katalis. Dengan demikian konsentrasi reaktan tersebut relatif dianggap konstan maka order reaksi akan berkurang.

Contoh 1 :

Hidrolisis dari ester yang dikatalis oleh asam :



Order reaksi tersebut adalah satu :

- jika air dalam keadaan berlebihan.

-  $H^+$  berfungsi sebagai katalis

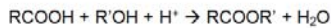
$\frac{d[A]}{dt} = -k[RCOOR'][H_2O][H^+] = -k'[RCOOR']$

Dengan  $k' = -k[H_2O][H^+]$

### Reaksi order semu

Contoh 2 :

Untuk reaksi asam karboksilat dengan alkohol terkatalisis oleh asam :



dan laju reaksi yang diamati untuk reaksi sempurna adalah :

$-\frac{dA}{dt} = k[H^+][A][B]$

dimana A adalah asam dan B adalah alkohol.

Konstanta laju semu dan konstanta laju sebenarnya dapat dihitung yaitu

$k_{\text{semu}} = k[H^+]$

karena  $H^+$  adalah suatu katalis sehingga konsentrasinya konstan.

### Reaksi order tinggi

Persamaan umum  $\frac{d[A]}{dt} = -k_A[A]^n$

Persamaan integrasi  $\int_1^2 \frac{d[A]}{[A]^n} = -k_A \int_1^2 dt$

$(1-n)[A]_0^{n-1} \times \left\{ \frac{[A]^{-n+1} - [A]_0^{-n+1}}{-n+1} \right\} = -k_A t$  Untuk  $n \neq 1$

$\left( \frac{[A]}{[A]_0} \right)^{1-n} = 1 + [A]_0^{n-1}(n-1)k_A t$  Untuk  $n \neq 1$

### Reaksi order tinggi

Waktu paro:  $t_{1/2}$   $t = t_{1/2}$   $[A] = 1/2[A]_0$

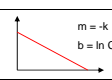
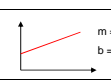
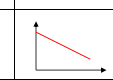
$t_{1/2} = \frac{2^{n-1} - 1}{(n-1)[A]_0^{n-1} k_A}$  Untuk  $n \neq 1$

$\int_1^2 \frac{d[A]}{[A]^n} = -k_A \int_1^2 dt$

$[A] = [A]_0 e^{-k_A t}$   $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k_A}$  Untuk  $n = 1$

$[A]_0 - [A] = k_A t$   $t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k_A}$  Untuk  $n = 0$

### Ringkasan untuk reaksi sederhana

	Order satu	Order dua	Order nol
Laju reaksi (-dC/dt)	kC	kC <sup>2</sup>	k
Persamaan terintegrasi	$C = C_0 e^{-kt}$ $\ln C = -kt + \ln C_0$	$1/C = kt + 1/C_0$	$C = -kt + C_0$
Plot	ln C vs. t	1/C vs. t	C vs. t
Linearitas			
Waktu paro	$\ln(2)/k$	$1/kC_0$	$C_0/2k$
Satuan k	waktu <sup>-1</sup>	M <sup>-1</sup> waktu <sup>-1</sup>	M waktu <sup>-1</sup>