

## Kinetika Reaksi Homogen

### BAGIAN 2

Jika persamaan tersebut disusun ulang maka didapat:

$$-r_2 = k_1(C_A^2 - \frac{k_2}{k_1}C_B C_C)$$

$$-r_2 = k_1(C_A^2 - \frac{C_B C_C}{K_c})$$

dengan,

$K_c = k_1/k_2 =$  konstanta kesetimbangan (dalam konsentrasi)

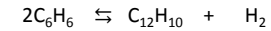
Jika reaksi eksoterm maka konstanta kesetimbangan turun jika suhu reaksi naik. Sedangkan untuk reaksi endoterm, konstanta kesetimbangan naik jika suhu reaksi naik.

### Konstanta Kesetimbangan dan Reaksi *Reversible*

- Reaksi reversible (reaksi dapat balik) adalah reaksi yang dapat berlangsung dua arah, yaitu reaksi ke kanan (*forward*) dan reaksi ke kiri (*reverse*).
- Dalam keadaan reaksi kesetimbangan berlaku suatu tetapan kesetimbangan (K) dan konversi kesetimbangan (Xe).

Contoh :

- Reaksi fase gas order dua antara dua molekul benzen membentuk satu molekul hidrogen dan satu molekul dipenil merupakan reaksi elementer dan reversible (dapat balik). Persamaan reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:



- Benzen (B) terurai menurut reaksi ke kanan dan Reaksi ke kiri (reverse) antara dipenil (D) dan hydrogen (H<sub>2</sub>). Kecepatan reaksi netto pembentukan benzen adalah jumlah dari reaksi ke kanan dan ke kiri, yaitu:

$$r_B = r_{B,net} = r_{B,forward} - r_{B,reverse}$$

$$r_B = -k_1 C_B^2 + k_2 C_D C_{H_2}$$

### STOIKHIOMETRI

Sistem Batch

Jumlah mol A mula-mula adalah  $N_{A0}$ .

Jumlah mol A setelah reaksi waktu t adalah  $N_{A0} X$

Jumlah mol A yang tersisa ( $N_{A0} - N_{A0} X$ ).

Jumlah mol A yang tersisa setelah konversi reaksi X :

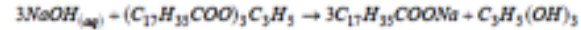
$$N_A = N_{A0} - N_{A0} X = N_{A0} (1 - X)$$

Jumlah mol B yang bereaksi dan produk (C dan D) yang terbentuk dapat dihitung menggunakan perbandingan koefisien dikalikan dengan A yang bereaksi, yaitu:

Spesies	Mula-mula (mol)	Perubahan (mol)	Sisa (eksis) (mol)
A	$N_{A0}$	$-N_{A0} X$	$N_A = N_{A0} - N_{A0} X$
B	$N_{B0}$	$-\frac{b}{a} N_{A0} X$	$N_B = N_{B0} - \frac{b}{a} N_{A0} X$
C	$N_{C0}$	$\frac{c}{a} N_{A0} X$	$N_C = N_{C0} + \frac{c}{a} N_{A0} X$
D	$N_{D0}$	$\frac{d}{a} N_{A0} X$	$N_D = N_{D0} + \frac{d}{a} N_{A0} X$
inert	$N_{I0}$	-	$N_I = N_{I0}$
Jumlah	$N_{T0}$		$N_T = N_{T0} + \left( \frac{d}{a} + \frac{c}{a} - \frac{b}{a} - 1 \right) N_{A0} X$

**Contoh soal 2.1**

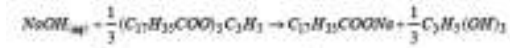
Sabun adalah garam sodium dan potassium dari berbagai asam lemak, seperti asam oleat, stearat, laurat, dan miristat. Reaksi penyabunan pembentukan sabun dari larutan soda api dan gliseril stearat adalah:



Jika X menunjukkan konversi sodium hidroksida, susunlah table stoikhiometri yang menyatakan konsentrasi masing-masing spesies yang dinyatakan dalam konsentrasi awal dan konversi X.

Jawab:

sodium hidroksida sebagai basis maka kita membagi koefisien stoikhiometri dengan koefisien pada sodium hidroksida. Hasilnya dapat kita tuliskan sebagai berikut:



Karena reaksi dalam fase cair maka volume reaksi dianggap konstan. Jadi hasil perhitungan di atas dapat diterapkan di sini dengan penyesuaian koefisien stoikhiometri. Hasil secara lengkap adalah sebagai berikut:

Spesies	Mula-mula (mol)	Perubahan (mol)	Sisa (eksis) (mol)	Konsentrasi
A	$N_{A0}$	$-N_{A0}X$	$N_{A0}(1-X)$	$C_{A0}(1-X)$
B	$N_{B0}$	$-\frac{1}{3}N_{A0}X$	$N_{B0}(\theta_B - \frac{X}{3})$	$C_{B0}(\theta_B - \frac{X}{3})$
C	$N_{C0}$	$N_{A0}X$	$N_{C0}(\theta_C + X)$	$C_{C0}(\theta_C + X)$
D	$N_{D0}$	$\frac{1}{3}N_{A0}X$	$N_{D0}(\theta_D + \frac{X}{3})$	$C_{D0}(\theta_D + \frac{X}{3})$
inert	$N_{I0}$	-	$N_I = N_{I0}$	$C_{I0}$
Jumlah	$N_{T0}$	0	$N_T = N_{T0}$	

**Contoh soal 2.2. Reaktan pembatas (limiting reaktan)**

Dengan memiliki tabel stoikhiometri seperti pada contoh soal di atas, kita dapat menghitung konsentrasi pada konversi tertentu. Jika campuran awal hanya terdiri dari sodium hidroksida pada konsentrasi 10 gmol/L (10 mol/dm<sup>3</sup> atau 10 kmol/m<sup>3</sup>) dan gliseril stearat pada konsentrasi 2 gmol/L, berapa konsentrasi gliserin ketika konversi sodium hidroksida (a) 20% dan (b) 90% ?

Jawab:

Karena awalnya hanya terdiri dari sodium hidroksida dan gliseril stearat, berarti  $\theta_C = \theta_D = 0$

a) konversi (X) = 20%

$$C_D = C_{A0}(X/3) = 10 (0,2/3) = 0,67 \text{ gmol/L} = 0,67 \text{ mol/dm}^3$$

$$C_B = C_{A0}(\theta_B - X/3) = 10 (2/10 - 0,2/3) = 10 (1,33) = 1,33 \text{ mol/dm}^3$$

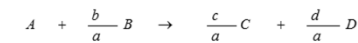
b) konversi (X) = 90%

$$C_D = C_{A0}(X/3) = 10 (0,9/3) = 3 \text{ mol/dm}^3$$

$$C_B = 10 (2/10 - 0,9/3) = 10 (0,2 - 0,3) = -1 \text{ mol/dm}^3$$

**Sistem Alir**

Bentuk tabel stoikhiometri untuk sistem alir kontinyu identik dengan sistem batch, hanya saja  $N_{j0}$  diganti dengan  $F_{j0}$  dan  $N_j$  diganti  $F_j$ . Reaksi antara A dan B membentuk C dan D dituliskan sebagai berikut:



Pada system alir, konsentrasi  $C_A$  pada titik tertentu dapat ditentukan dari  $F_A$  dan kecepatan volumetric pada titik tersebut, yaitu:

$$C_A = \frac{F_A}{V} = \frac{\text{mol} / \text{waktu}}{\text{liter} / \text{waktu}} = \frac{\text{mol}}{\text{waktu}}$$

Kita dapat menghitung konsentrasi A, B, C, dan D berdasarkan pada persamaan reaksi di atas dan dinyatakan dalam  $F_{A0}$ ,  $F_{B0}$ ,  $F_{C0}$ ,  $F_{D0}$ , X, dan u.

Spesies	Mula-mula (mol/waktu)	Perubahan (mol/waktu)	Kecepatan alir keluar reaktor (mol/waktu)
A	$F_{A0}$	$-F_{A0}X$	$F_A = F_{A0}(1-X)$
B	$F_{B0} = \theta_B F_{A0}$	$-\frac{b}{a} F_{A0}X$	$F_B = F_{A0}(\theta_B - \frac{b}{a}X)$
C	$F_{C0} = \theta_C F_{A0}$	$\frac{c}{a} F_{A0}X$	$F_C = F_{A0}(\theta_C + \frac{c}{a}X)$
D	$F_{D0} = \theta_D F_{A0}$	$\frac{d}{a} F_{A0}X$	$F_D = F_{A0}(\theta_D + \frac{d}{a}X)$
inert	$F_{I0} = \theta_I F_{A0}$	-	$F_I = F_{I0} \theta_I$
Jumlah	$F_{T0}$		$F_T = F_{T0} + \left(\frac{d}{a} + \frac{c}{a} - \frac{b}{a} - 1\right)F_{A0}X$ $F_T = F_{T0} + \delta F_{A0}X$

Dengan  $\theta_B = \frac{F_{B0}}{F_{A0}} = \frac{C_{B0}v_0}{C_{A0}v_0} = \frac{C_{B0}}{C_{A0}} = \frac{y_{B0}}{y_{A0}}$

Reaksi fase cair, jika tidak terjadi perubahan fase maka perubahan volume diabaikan sehingga  $v = v_0$ . Konsentrasi ditentukan sebagai berikut:

$$C_A = \frac{F_{A0}}{v_0}(1-X) = C_{A0}(1-X)$$

$$C_B = C_{A0}\left(\theta_B - \frac{b}{a}X\right)$$

**Volume Reaksi Berubah**

- Volume reaksi berubah pada peristiwa reaksi fase gas
- jumlah mol produk dan reaktan berbeda.

Sebagai contoh dapat dilihat pada reaksi pembentukan amoniak sebagai berikut:

$$N_2 + 3H_2 \longrightarrow 2NH_3$$

4 mol reaktan menghasilkan 2 mol produk, sehingga volume reaksi akan mengalami perubahan.  
Perubahan volume selama reaksi dapat ditentukan menggunakan persamaan keadaan sebagai berikut

$$PV = ZNRT$$

Dengan, T = suhu reaksi, K  
P = tekanan total, atm  
Z = factor kompresibilitas  
R = konstanta gas ideal = 0,08206 L.atm/g.mol.K

Pada saat t = 0 maka persamaan tersebut menjadi:

$$V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right) \frac{T}{T_0} \left(\frac{Z}{Z_0}\right) \frac{N_T}{N_{T0}}$$

perubahan jumlah mol sebagai fungsi konversi :

$$N_T = N_{T0} + \delta N_{A0}X$$

$$\frac{N_T}{N_{T0}} = 1 + \frac{N_{A0}}{N_{T0}} \delta X = 1 + \delta y_{A0}X$$

$$\delta = \frac{d}{a} + \frac{c}{a} - \frac{b}{a} - 1$$

$$\epsilon = \frac{\text{Perubahan - jumlah - mol - ketika - reaksi - sempurna}}{\text{jumlah - mol - total - umpan}}$$

$$\epsilon = \left(\frac{d}{a} + \frac{c}{a} - \frac{b}{a} - 1\right) \frac{N_{A0}}{N_{T0}} = y_{A0} \delta$$

Persamaan menjadi :

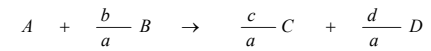
$$V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right) \frac{T}{T_0} \left(\frac{Z}{Z_0}\right) (1 + \epsilon X)$$

Jika kompresibilitas gas dianggap konstan maka  $Z = Z_0$ .

$$V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right) (1 + \epsilon X) \frac{T}{T_0}$$

**Contoh**

Persamaan reaksi fase gas mengikuti persamaan reaksi berikut:



konsentrasi masing-masing spesies sebagai fungsi konversi ditentukan sebagai berikut:

$$C_A = \frac{N_A}{V} = \frac{N_{A0}(1-X)}{V} = \frac{N_{A0}(1-X)}{V_0(1+\varepsilon X)} \left( \frac{T_0}{T} \right) \frac{P}{P_0} = C_{A0} \left( \frac{1-X}{1+\varepsilon X} \right) \frac{T_0}{T} \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

$$C_B = \frac{N_B}{V} = \frac{N_{A0}(\theta_B - \frac{b}{a}X)}{V} = \frac{N_{A0}(\theta_B - X)}{V_0(1+\varepsilon X)} \left( \frac{T_0}{T} \right) \frac{P}{P_0} = C_{A0} \left( \frac{\theta_B - \frac{b}{a}X}{1+\varepsilon X} \right) \frac{T_0}{T} \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

$$C_C = \frac{N_C}{V} = \frac{N_{A0}(\theta_C + \frac{c}{a}X)}{V} = \frac{N_{A0}(\theta_C + X)}{V_0(1+\varepsilon X)} \left( \frac{T_0}{T} \right) \frac{P}{P_0} = C_{A0} \left( \frac{\theta_C + \frac{c}{a}X}{1+\varepsilon X} \right) \frac{T_0}{T} \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

$$C_D = \frac{N_D}{V} = \frac{N_{A0}(\theta_D + \frac{d}{a}X)}{V} = \frac{N_{A0}(\theta_D + X)}{V_0(1+\varepsilon X)} \left( \frac{T_0}{T} \right) \frac{P}{P_0} = C_{A0} \left( \frac{\theta_D + \frac{d}{a}X}{1+\varepsilon X} \right) \frac{T_0}{T} \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

$$C_I = \frac{N_I}{V} = \frac{N_{A0}\theta_I}{V} = \frac{N_{A0}\theta_I}{V_0(1+\varepsilon X)} \left( \frac{T_0}{T} \right) \frac{P}{P_0} = \left( \frac{C_{A0}\theta_I}{1+\varepsilon X} \right) \frac{T_0}{T} \left( \frac{P}{P_0} \right)$$