



UNIVERSITAS
PANCASILA
"A PLACE TO CREATE YOUR SUCCESS"



MATA KULIAH KIMIA



KESETIMBANGAN KIMIA



Dosen Pengampu :
Dr. apt. Liliek Nurhidayati, M.Si.

Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik Universitas Pancasila
Semester
Gasal 2025/2026

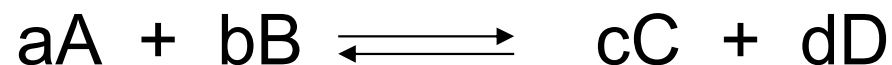
A. Definisi

Suatu reaksi dikatakan setimbang bila:

reaksi pembentukan dan reaksi penguraian pada reaksi tersebut berlangsung dengan kecepatan sama, konsentrasi reaktan dan produk tidak berubah Pada keadaan setimbang :

Proses pembentukan dan penguraian berlangsung dengan laju yang sama sehingga terlihat tidak ada lagi perubahan → kesetimbangan dinamis

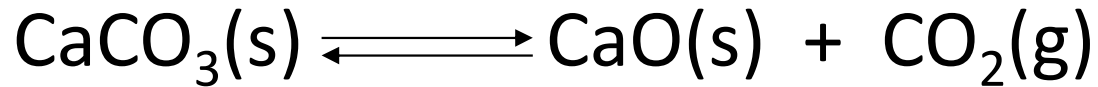
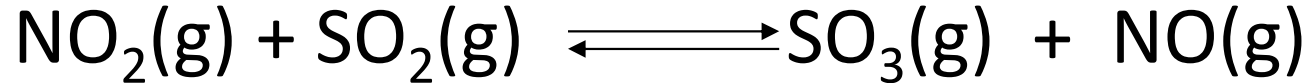
Reaksi kimia sebagian besar bersifat reversibel.



A ; B = reaktan C ; D = produk

a , b , c , d = koefisien reaksi

Contoh :



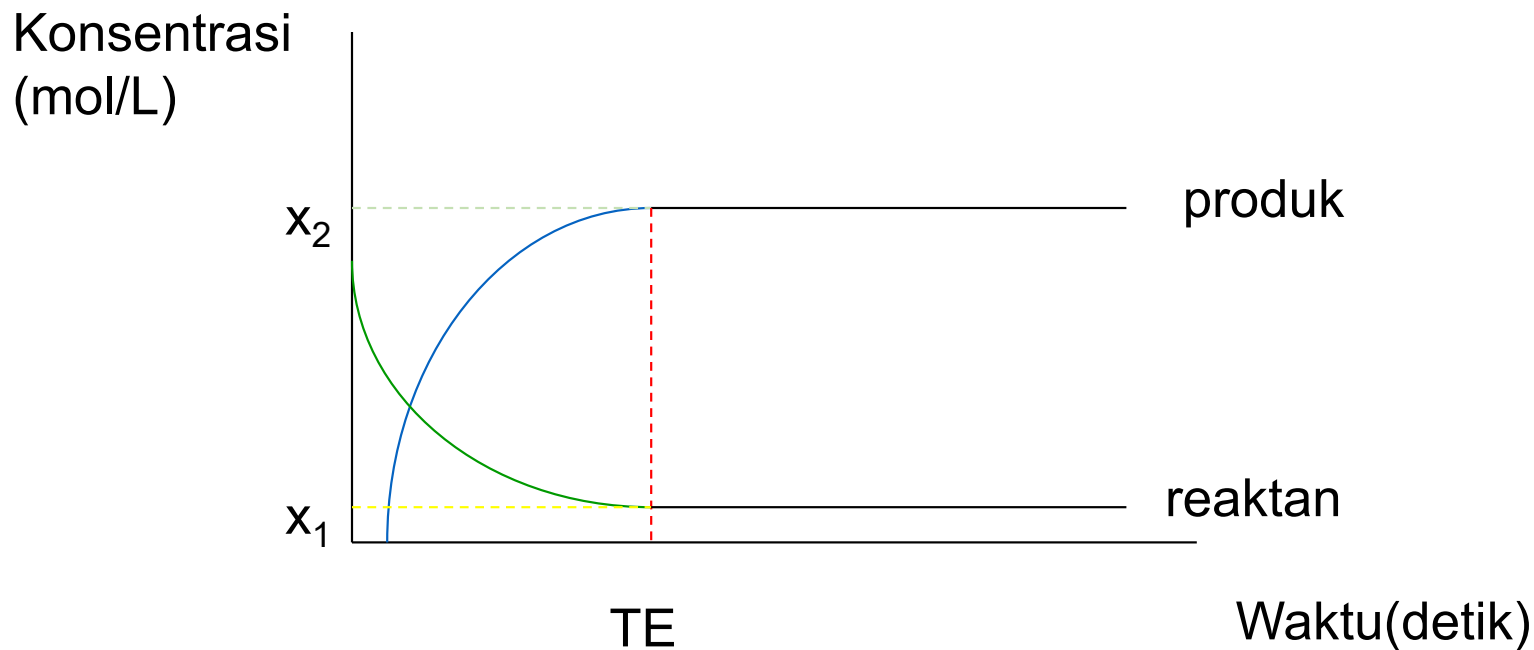
Jika laju pembentukan (kiri $\rightarrow$ kanan) =
laju penguraian (kanan $\rightarrow$ kiri) $\rightarrow$ reaksi setimbang

atau

Jika kecepatan berubahnya reaktan menjadi produk =
kecepatan produk berinteraksi membentuk reaktan kembali

Salah satu ciri yang menunjukkan bahwa suatu sistem telah mencapai kesetimbangan adalah adanya sifat-sifat tertentu yang menjadi konstan dan dapat diukur.

Dapat digambarkan sebagai berikut:



x_1 =konsentrasi reaktan pada keadaan setimbang

x_2 =konsentrasi produk pada keadaan setimbang

TE =waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan setimbang

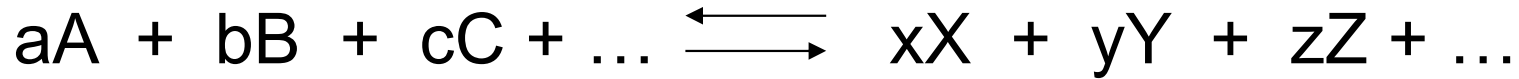
Setelah TE (melewati waktu tertentu) tidak ada lagi perubahan konsentrasi reaktan dan produk.

Kondisi tersebut di atas dengan mengasumsikan :

- suhu & tekanan tetap
- reaksi berjalan dalam sistem tertutup, yaitu suatu sistem yang tidak memungkinkan hilangnya produk atau reaktan keluar dari sistem

Bila sistem merupakan sistem terbuka dan salah satu produk berbentuk gas, maka kesetimbangan tidak pernah akan dapat tercapai karena reaksi kebalikan akan selalu lebih kecil dari pembentukan → reaksi akan berlangsung sempurna

B. Konstanta kesetimbangan



Reaksi mencapai keadaan setimbang

$$K = \frac{[X]^x [Y]^y [Z]^z \dots}{[A]^a [B]^b [C]^c \dots}$$

Hukum kesetimbangan

Hasil kali produk dipangkatkan dengan koefisien reaksinya dibagi dengan hasil kali reaktan dipangkatkan dengan koefisien reaksinya

K yang nilainya selalu tetap pada suhu tertentu disebut konstanta (tetapan) kesetimbangan

$K \rightarrow K_c, K_p, K_a$

Kc

Jika reaktan dan produk dinyatakan dalam konsentrasi yaitu dalam satuan mol/liter, maka K sering ditulis dengan Kc

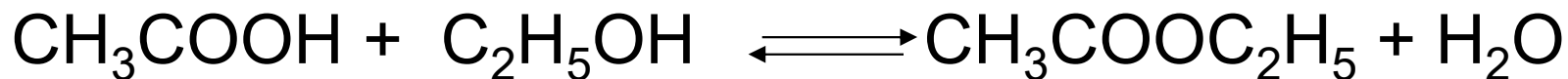
Nilai Kc tergantung pada:
jenis reaksi dan suhu

Bila suatu reaksi mencapai kesetimbangan pada suhu tertentu nilai Kc akan tetap dan nilai ini tidak tergantung pada konsentrasi reaktan dan produk.

Contoh perhitungan:

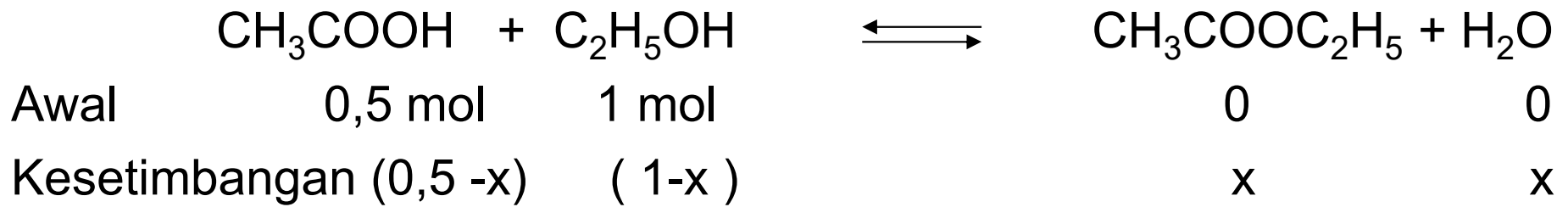
Diketahui:

Nilai Kc untuk reaksi di bawah ini pada suhu 25°C adalah 4,00



Hitung : Berapa banyak ester etil asetat akan terbentuk pada kesetimbangan bila 1 mol etanol ditambahkan pada 0,5 mol asam asetat pada suhu 25°C?

Penyelesaian:



$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]}$$
$$4 = \frac{x \cdot x}{(1 - x)(0,5 - x)}$$
$$4(1 - x)(0,5 - x) = x^2$$

dengan persamaan kuadrat diperoleh:

$$x_1 = 0,422 \text{ mol} \qquad x_2 = 1,577 \text{ mol} \quad \text{tidak mungkin}$$

$\therefore$ Terbentuk 0,422 mol ester; 0,422 air; dalam campurannya masih terdapat 0,078 mol asam asetat dan 0,578 mol etanol

Kc suatu reaksi dapat digunakan untuk menghitung Kc reaksi kimia lain bila reaksi-reaksi kimia itu mengandung spesies-spesies yang sama

Contoh:

Semua reaksi-reaksi di bawah ini mencapai keadaan kesetimbangan pada suhu 184°C

1. $2 \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ $K_{c1} = 1,8 \times 10^{-6}$
2. $\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g})$ $K_{c2} = ?$
3. $2 \text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ $K_{c3} = ?$

Penyelesaian :

$$K_{c1} = \frac{[\text{NO}]^2 [\text{O}_2]}{[\text{NO}_2]^2} = 1,8 \times 10^{-6}$$

$$K_{c2} = \frac{[\text{NO}][\text{O}_2]^{1/2}}{[\text{NO}_2]}$$

$$K_{c3} = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 [\text{O}_2]}$$

antara K_{c1} dan K_{c3} akan terdapat hubungan sebagai berikut :

$$K_{c1} = \frac{[\text{NO}_2]^2 [\text{O}_2]}{[\text{NO}_2]^2} = \frac{1}{[\text{NO}_2]^2 / [\text{NO}_2]^2 [\text{O}_2]}$$

$$K_{c1} = 1/K_{c3}$$

$$\therefore K_{c3} = 1/K_{c1} = 1/1,8 \times 10^{-6}$$

$$= 5,5 \times 10^5 \text{ pada } T = 184$$

Antara K_{c1} dan K_{c2}

$$K_{c2} = \frac{[\text{NO}][\text{O}_2]^{1/2}}{[\text{NO}_2]}$$

$$= \left(\frac{[\text{NO}_2]^2 [\text{O}_2]}{[\text{NO}_2]^2} \right)^{1/2} = (K_{c1})^{1/2}$$

$$K_{c2} = (K_{c1})^{1/2} = (1,8 \times 10^{-6})^{1/2}$$

$$= 1,34 \times 10^{-3} \text{ pada } T \text{ } 184^\circ \text{ C}$$

Dari persamaan di atas:

- Bila persamaan reaksi dibalik (pers 1 & 3)
nilai $K_c = 1/K_c$ semula
- Bila koefisien reaksi dibagi bilangan bulat maka
 $\rightarrow K_c \text{ baru} = (K_c \text{ lama})^{1/\text{bil. bulat}}$
- Bila koefisien reaksi dikali dengan bilangan bulat
 $\rightarrow K_c \text{ baru} = (K_c \text{ lama})^{\text{bil bulat}}$

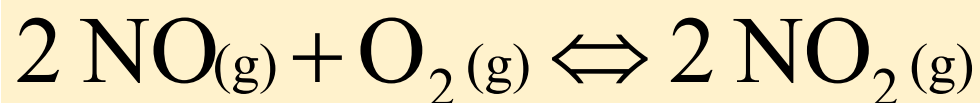
mis:



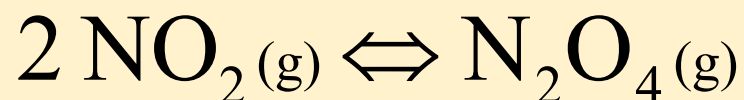
$$K_{c2} = (K_{c1})^2$$

- Bila dua atau lebih pers. reaksi dijumlahkan, K_c reaksi total dapat diperoleh dari hasil kali seluruh K_c dari persamaan reaksi yang dijumlahkan

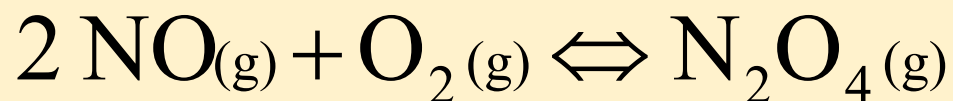
Misal



$$K_{\text{c1}} = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2[\text{O}_2]}$$



$$K_{\text{c2}} = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2}$$



$$K_{\text{c3}} = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}]^2[\text{O}_2]}$$

$$K_{\text{c3}} = K_{\text{c1}} \cdot K_{\text{c2}}$$

Kp

Kp merupakan nilai konstanta kesetimbangan dalam sistem gas, nilai kesetimbangan tidak dinyatakan dalam konsentrasi tetapi dalam tekanan parsial masing-masing spesies

$$K_p = \prod_i \left(\frac{p_i}{p_0} \right)^{v_i}$$

Dalam menghitung Kp, gas diasumsikan mengikuti sifat-sifat gas ideal

Hubungan antara Kp dan Kc

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

atau

$$K_p = K_c(0.0821T)^{\Delta n}$$

R = 0,08206 atm liter mol⁻¹ K⁻¹

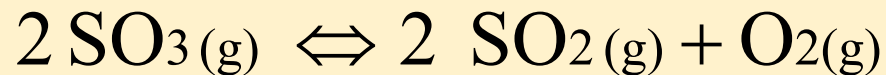
T = suhu absolut dalam Kelvin

Δn = perubahan jumlah mol produk dan reaktan yang berwujud gas selama reaksi berlangsung
= koefisien reaksi produk – koefisien reaksi reaktan (untuk yang berwujud gas)

Kp dan Kc tidak memiliki satuan

- Contoh:

Pada suhu 1000 K, K_c untuk reaksi berikut adalah $3,57 \times 10^{-3}$



Hitung nilai K_p untuk reaksi di atas!

Penyelesaian :

Diketahui $T = 1000 \text{ K}$

$$R = 0,08206 \text{ atm liter mol}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$\Delta n = (2 + 1) - 2$$

Ditanyakan : K_p

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

$$= 3,57 \times 10^{-3} (0,08206 \text{ atm liter mol}^{-1} \text{K}^{-1} \times 1000 \text{ K})^1$$

$$= 0,29$$

Konstanta Keseimbangan Termodinamika (K)

Konsentrasi dan tekanan dinyatakan dalam aktivitas

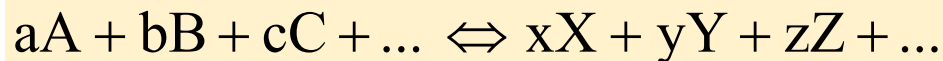
Aktivitas (a) adalah konsentrasi efektif dari suatu zat

- tidak berdimensi dan tidak memiliki satuan

Dalam perhitungan dinyatakan dalam aktivitas, karena dalam kenyataannya seringkali terdapat penyimpangan sifat-sifat ideal yang disebabkan gaya intermolekuler

$$K = \prod_j a_j^{v_j}$$

Untuk reaksi



$$K = \frac{(a_X)^x (a_Y)^y (a_Z)^z \dots}{(a_A)^a (a_B)^b (a_C)^c \dots}$$

a_X adalah aktivitas X, a_Y adalah aktivitas Y

Kesetimbangan homogen

Reaksi kesetimbangan yang produk dan reaktannya fasenya sama



$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} \quad K_p = \frac{P_{\text{NO}_2}^2}{P_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

Kesetimbangan heterogen

Terjadi pada reaksi kesetimbangan yang reaktan dan produk berbeda fasenya



$$K'_c = \frac{[\text{CaO}][\text{CO}_2]}{[\text{CaCO}_3]} \quad \frac{[\text{CaCO}_3]}{[\text{CaO}]} K'_c = K_c = [\text{CO}_2]$$

Sistem heterogen

- Reaksi berlangsung antara dua fasa atau lebih
- Dapat dijumpai pada reaksi antara gas dan padat, cair dan gas atau padat dan cair dst.
- Cara yang paling mudah untuk menyelesaikannya adalah menganggap komponen-komponen dalam reaksi pada fasa yang sama
- Pada sistem padat/gas → komponen reaksi yang berbentuk padat diasumsikan membentuk uap melalui sublimasi, semua padatan diasumsikan menyublim dan uap padatan ini kemudian bereaksi dengan komponen lain yang sudah berada dalam fasa gas.
- Tekanan uap zat padat akan selalu tetap, bila suhu tetap dan besarnya tekanan zat padat ini tidak tergantung pada jumlah zat padat yang ada.
- $\therefore$ dapat dianggap p uap zat padat disebabkan oleh sejumlah konsentrasi zat padat yang tetap bila suhu tetap

Contoh

Dissosiasi batu kapur atau limestone = CaCO_3



Batu kapur

kapur tohor

Pada saat kesetimbangan:

$$K = \frac{a_{\text{CaO}(\text{s})} \cdot a_{\text{CO}_2(\text{g})}}{a_{\text{CaCO}_3(\text{s})}} = \frac{1 \cdot P_{\text{CO}_2}}{1} = P_{\text{CO}_2}$$
$$= K_p$$

P_{CO_2} pada saat kesetimbangan = tekanan dissosiasi kalsium karbonat pada $T^\circ\text{C}$

Pada pembuatan kapur tohor; pembakaran batu kapur dipanaskan dengan suhu tinggi, udara dilewatkan pada permukaan batu kapur sehingga p_{CO_2} tidak dapat mencapai p kesetimbangan

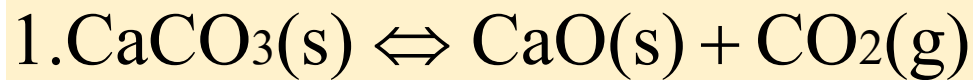
→ kapur tohor terus terbentuk

Dalam menyelesaikan perhitungan-perhitungan yang menyangkut **a** dapat digunakan pendekatan sebagai berikut:

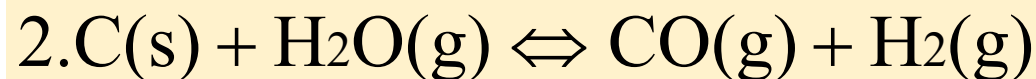
1. Aktivitas cairan dan padatan mempunyai nilai = 1
2. Untuk gas diasumsikan gas ideal (tidak terdapat gaya intermolekuler) jadi aktivitas gas = tekanan parsialnya dan dinyatakan dalam atm
3. Untuk cairan diasumsikan bahwa gaya intermolekuler antara molekul-molekul pelarut, antar molekul zat terlarut dan antara molekul pelarut dan zat terlarut sama besarnya (untuk larutan encer) sehingga aktivitas dapat dinyatakan sebagai konsentrasi dengan satuan molar

Apabila asumsi keadaan ideal tidak terpenuhi digunakan koefisien aktivitas untuk menghubungkan tekanan parsial gas atau konsentrasi dengan aktivitas.

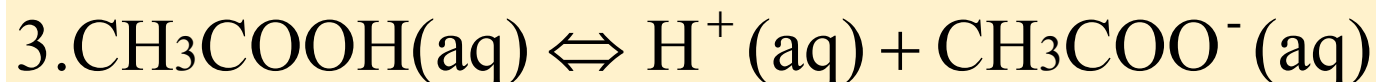
Contoh perhitungan



$$K = \frac{\left({}^a \text{CaO}(\text{s}) \right) \left({}^a \text{CO}_2(\text{g}) \right)}{\left({}^a \text{CaCO}_3(\text{s}) \right)} = \frac{1(P_{\text{CO}_2})}{1} = P_{\text{CO}_2} = K_p$$



$$K = \frac{\left({}^a \text{CO}(\text{g}) \right) \left({}^a \text{H}_2(\text{g}) \right)}{\left({}^a \text{C}(\text{s}) \right) \left({}^a \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \right)} = \frac{(P_{\text{CO}})(P_{\text{H}_2})}{1(P_{\text{H}_2\text{O}})} = \frac{P_{\text{CO}}P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} = K_p$$



$$K = \frac{\left({}^a \text{H}^+(\text{aq}) \right) \left({}^a \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) \right)}{\left({}^a \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \right)} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = K_c$$

C. Prinsip Le Chatelier

Le Chatelier (1888) menyatakan:

“setiap perubahan pada salah satu variabel sistem kesetimbangan akan menggeser posisi kesetimbangan ke arah tertentu yang akan menetralkan/meniadakan pengaruh variabel yang berubah tadi”

Contoh :

- Reaksi endotermik (membutuhkan panas):

Bila suhu $\uparrow$, kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan produk, untuk meniadakan pengaruh naiknya suhu.

1. Pengaruh perubahan konsentrasi

Dalam sintesis metanol:



Pada T dan P tetap, bila H_2 ditambah, kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan CH_3OH (produk) → agar efek penambahan H_2 dapat dinetralisasi H_2 bereaksi dengan CO membentuk CH_3OH → H_2 berkurang
(H_2 bereaksi dengan CO → CO juga berkurang)

2. Pengaruh perubahan tekanan

a. Jumlah molekul sebelah kanan (produk)=kiri(reaktan)

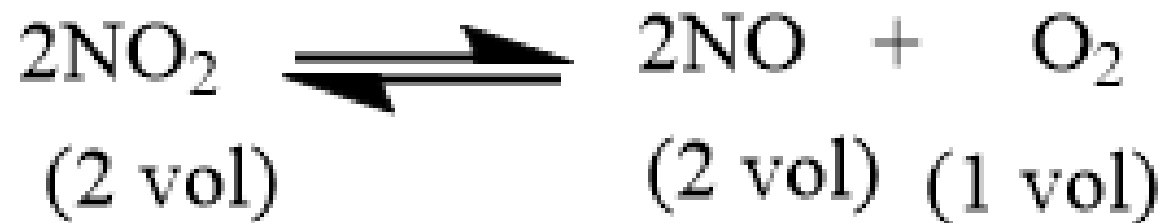
Perubahan tekanan tidak mempengaruhi kesetimbangan

Contoh:



b. Jumlah molekul sebelah kanan(produk)>kiri(reaktan)

Contoh:



Bila:

$P \uparrow \rightarrow$ kesetimbangan bergeser ke kiri $\rightarrow$ pembentukan NO_2

$P \downarrow \rightarrow$ kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan produk

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2 [\text{O}_2]}{[\text{NO}_2]^2}$$
$$= \frac{(n_{\text{NO}}/V)^2 (n_{\text{O}_2}/V)}{(n_{\text{NO}_2}/V)^2} = \left(\frac{n_{\text{NO}}^2 \cdot n_{\text{O}_2}}{n_{\text{NO}_2}^2} \right) \cdot \frac{1}{V}$$

n_{NO} = jumlah mol NO

n_{O_2} = jumlah mol O_2

n_{NO_2} = jumlah mol NO_2

$p \uparrow \rightarrow V \ll (\text{suhu tetap}) \rightarrow \text{agar } K_c \text{ tetap}$

$$\frac{(n_{\text{NO}})^2 (n_{\text{O}_2})}{(n_{\text{NO}_2})} \ll \rightarrow \text{mol NO dan O}_2 \text{ berkurang}$$

$\rightarrow \text{NO}_2 \text{ harus meningkat} \rightarrow \text{reaksi bergeser ke kiri}$

c. Jumlah molekul sebelah kanan (produk) < kiri (reaktan)



Bila

$P \uparrow \rightarrow \text{kesetimbangan bergeser ke kanan} \rightarrow \text{pembentukan NH}_3$

$P \downarrow \rightarrow \text{kesetimbangan bergeser ke kiri} \rightarrow \text{perurain NH}_3$

3. Pengaruh perubahan suhu

Asas Le Chatelier meramalkan bahwa: Kesetimbangan akan bergeser ke arah endoterm jika suhu dinaikkan, karena dengan cara demikian energi diabsorpsi sebagai kalor. Kesetimbangan akan bergeser ke arah eksoterm jika suhu diturunkan, karena dengan cara demikian terjadi perlawanan terhadap pengurangan produk itu.

Reaksi eksotermik:

kenaikan suhu akan menambah reaktan

Reaksi endotermik:

kenaikan suhu akan menambah produk

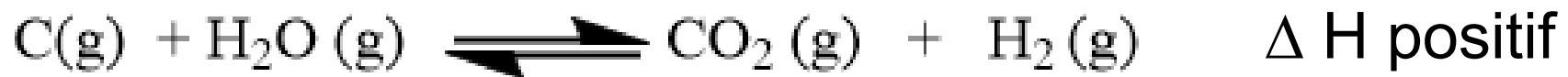
Contoh



Reaksi pembentukan ammonia → reaksi eksotermik,
reaksi kebalikan → reaksi endotermik.

Jika $T \uparrow \rightarrow$ kesetimbangan bergeser ke kiri, ke arah reaksi endotermik sehingga pengaruh suhu dapat dikurangi.

Bagaimana pengaruh suhu terhadap reaksi berikut?

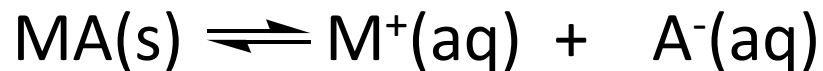


D. Kestimbangan kelarutan; hasil kali kelarutan dan pengendapan

1. Hasil kali kelarutan

Kestimbangan kelarutan=

Kestimbangan di antara elektrolit yang sedikit larut dengan ion-ionnya dalam larutan berair



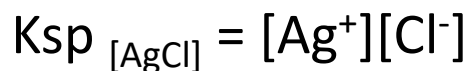
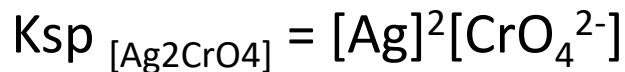
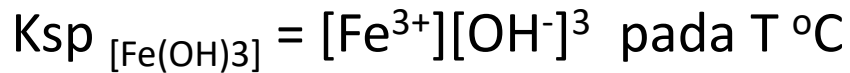
Larutan jenuh MA mengandung elektrolit biner

$$K = \frac{(a_{\text{M}^+(\text{aq})})(a_{\text{A}^-(\text{aq})})}{a_{\text{MA(s)}}}$$

padatan murni = 1

$$K = K_c = \frac{[\text{M}^+][\text{A}^-]}{[\text{MA}]} = \frac{[\text{M}^+][\text{A}^-]}{1} = K_{sp} \text{ pada } T^\circ\text{C}$$

Hasil kali kelarutan yang bukan biner dapat diturunkan dengan cara yang sama



(hasil kali ion)

Hasil kali ion tergantung pada konsentrasi larutan

Pada larutan jenuh nilainya akan tetap, bila suhu tetap → hasil kali ion = K_{sp}

Efek Garam=pengaruh ion tak senama

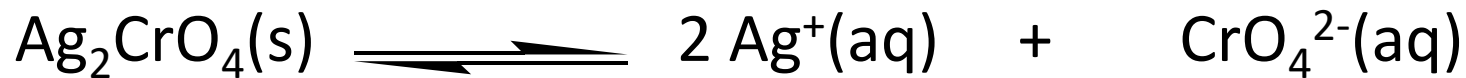
- Penambahan ion yang tidak senama sampai batas-batas tertentu akan mempengaruhi kesetimbangan
- Penambahan ion tidak senama cenderung meningkatkan kelarutan
- Penambahan ion tidak senama dikenal sebagai efek garam

Pengaruh ion senama

Bila ion sejenis yang berasal dari sumber lain dimasukkan ke dalam larutan jenuh, maka menurut Le Chatelier kesetimbangan akan bergeser sedemikian rupa sehingga efek perubahan akan dinetralkan

Misal:

Pada sistem berikut ditambahkan ion CrO_4^{2-} dari sumber lain misal: K_2CrO_4



Ditambahkan , CrO_4^{2-} maka reaksi akan mengarah ke kiri

Tambahan endapan	$[\text{Ag}^+]$ berkurang	$[\text{CrO}_4^{2-}] >$ dibanding dalam
Ag_2CrO_4	dibanding dalam	kesetimbangan asli
	kesetimbangan asli	

Kelarutan elektrolit yang sedikit larut berkurang dengan kehadiran senyawa lain yang memberikan ion senama

2. Pengendapan

- Nilai hasil kali kelarutan dapat digunakan untuk menduga apakah pengendapan akan terjadi jika dua elektrolit dicampurkan
- Bila hasil kali ion $< K_{sp}$ tidak akan terjadi pengendapan
- Bila hasil kali ion $> K_{sp}$ pengendapan terjadi

Contoh:

0,1 M $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$ dan 0,01 M $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ dicampur pada 25°C. K_{sp} CaSO_4 pada 25°C = $2,4 \times 10^{-5}$

$$\therefore K_{sp} \text{CaSO}_4 = [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = 2,4 \times 10^{-5}$$

Hasil kali ion yang dicampur = $(0,1)(0,01) = 10^{-3}$

$$10^{-3} \gg 2,4 \times 10^{-5}$$

terjadi pengendapan

Selamat Belajar