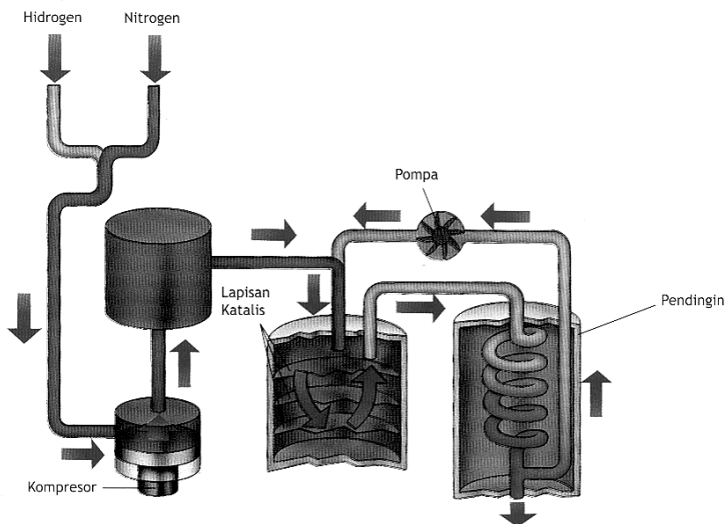


BAB 4

KESETIMBANGAN KIMIA



Gambar 4.1 Proses kesetimbangan kimia
Sumber: Ensiklopedia Iptek

Pada bab keempat ini akan dipelajari tentang arti kesetimbangan dinamis, faktor-faktor yang memengaruhi pergeseran kesetimbangan, asas Le Chatelier, dan aplikasi kesetimbangan kimia dalam industri.

Bab 4

Keseimbangan Kimia

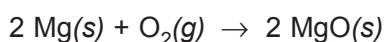
Tujuan Pembelajaran

Setelah memperoleh penjelasan dari guru, diharapkan siswa mampu:

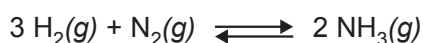
1. Menjelaskan arti kesetimbangan dinamis.
2. Menjelaskan kesetimbangan homogen dan heterogen serta tetapan kesetimbangan.
3. Menyimpulkan pengaruh perubahan suhu, konsentrasi tekanan, dan volume pada pergeseran kesetimbangan berdasar hasil percobaan.
4. Meramalkan arah pergeseran kesetimbangan dengan menggunakan asas Le Chatelier.
5. Menafsirkan data hasil percobaan pada keadaan setimbang serta menyimpulkan pengertian tetapan kesetimbangan (K_c).
6. Menghitung harga K_c berdasarkan konsentrasi kesetimbangan dan sebaliknya.
7. Menghitung harga K_p berdasarkan tekanan parsial.
8. Menghitung harga K_p berdasarkan K_c atau sebaliknya.

Pada bagian sebelumnya telah dipelajari bahwa suatu zat dapat bereaksi dengan zat lain yang kemudian menghasilkan zat baru. Reaksi tersebut umumnya disebut reaksi kimia yang berlangsung sampai habis. Misalnya, pita magnesium (Mg) dibakar dalam oksigen, semua magnesium akan bereaksi dengan oksigen membentuk magnesium oksida (MgO). Demikian pula jika sebutir pualam (CaCO_3) dimasukkan ke dalam larutan asam klorida (HCl) berlebihan, semua pualam akan habis bereaksi dengan asam klorida.

Reaksinya sebagai berikut.



Ada beberapa reaksi yang dapat berlangsung dua arah, contohnya pada reaksi pembuatan gas amonia.



Reaksi ini disebut juga reaksi *reversibel* atau reaksi kesetimbangan. Pada reaksi ini setiap NH_3 terbentuk akan segera terurai lagi menjadi gas H_2 dan gas N_2 . Oleh karena itu, untuk membuat produk yang dihasilkan melalui reaksi kesetimbangan diperlukan beberapa faktor untuk mengatur arah reaksi seperti: konsentrasi, suhu, tekanan, dan volume. Reaksi kesetimbangan dapat terjadi pada reaksi homogen dan reaksi heterogen.

Bagaimana reaksi tersebut dapat dijelaskan? Reaksi tersebut dapat dijelaskan apabila dipahami tentang reaksi kesetimbangan. Pemahaman ini sangat perlu sebagai dasar dalam mengamati dan melaksanakan berbagai reaksi dalam industri, seperti pembuatan asam sulfat dan gas amonia.

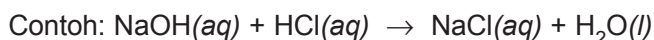
Pada bab ini kamu dapat mempelajari tentang pengertian reaksi kesetimbangan, faktor-faktor yang memengaruhi reaksi kesetimbangan, dan reaksi kesetimbangan dalam industri.



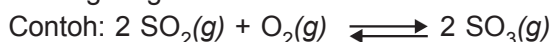
A. Kesetimbangan Dinamis

Reaksi kimia secara garis besar ada 2 macam, yaitu:

1. **Reaksi berkesudahan (*irreversible*)** yaitu reaksi yang hanya berlangsung satu arah.



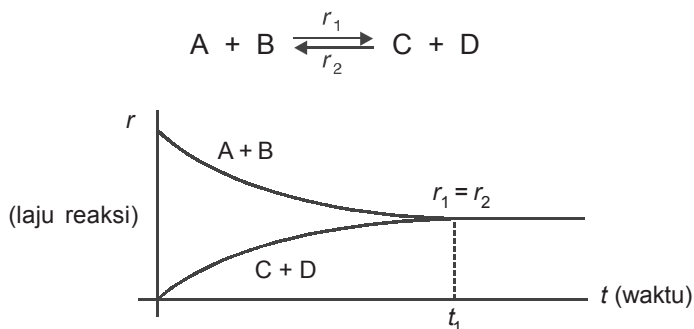
2. **Reaksi dapat balik (*reversible*)** yaitu reaksi yang dapat berlangsung dua arah.



Jika suatu reaksi dapat balik berlangsung dalam sistem tertutup dan suhu tetap, maka sistem mencapai kesetimbangan.

Sebelum mencapai kesetimbangan, jumlah zat yang bereaksi makin lama berkurang dan jumlah hasil reaksi bertambah, akhirnya pada saat reaksi maju dan reaksi balik memiliki laju reaksi yang sama akan tercapai kesetimbangan dinamis.

Secara grafik dapat digambarkan sebagai berikut.

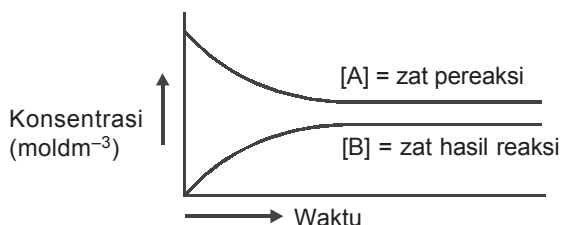


Gambar 4.2 Kesetimbangan laju reaksi

Konsentrasi A; [A] mula-mula besar kemudian waktu bereaksi makin berkurang dan berubah menjadi zat B. Reaksi yang terjadi berlangsung cepat dan makin melambat.

Sebaliknya, pada keadaan awal konsentrasi B; [B] = 0, makin lama makin bertambah. Zat B yang terbentuk dapat berubah kembali menjadi zat A yang reaksinya mula-mula lambat kemudian makin cepat.

Pada saat yang bersamaan [A] terurai sama banyaknya dengan [A] yang terbentuk kembali. Dapat pula dikatakan [B] yang terbentuk sama dengan [B] yang terurai. Pada keadaan ini telah tercapai kesetimbangan. Tercapainya kesetimbangan dapat digambarkan seperti berikut.

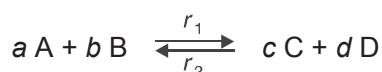


Gambar 4.3 Grafik kesetimbangan

Dalam reaksi setimbang terjadi reaksi dua arah yang berlawanan dengan laju reaksi yang sama, ini berarti selama dalam kesetimbangan itu terus terjadi reaksi baik ke kanan maupun ke kiri tetapi dengan laju yang sama. Kesetimbangan kimia demikian disebut kesetimbangan dinamis. Sedang kesetimbangan statis misalnya kesetimbangan yang terjadi dalam neraca pada saat kita menimbang, dalam kesetimbangan ini tidak terjadi perubahan apa pun.

Hukum Kesetimbangan

Telah diketahui bahwa dalam kesetimbangan terjadi reaksi dua arah yaitu ke kanan dan ke kiri dengan laju reaksi yang sama. Misalnya untuk reaksi kesetimbangan:



r_1 adalah laju reaksi ke kanan, dengan tetapan laju reaksi k_1 .

r_2 adalah laju reaksi ke kiri, dengan tetapan laju reaksi k_2 .

$$r_1 = k_1 [A]^a [B]^b$$

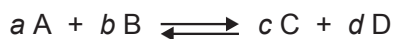
$$r_2 = k_2 [C]^c [D]^d$$

Pada saat setimbang tercapai, maka $r_1 = r_2$, maka:

$$k_1 [A]^a [B]^b = k_2 [C]^c [D]^d$$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

Harga k_1 dan k_2 selalu tetap pada temperatur yang tetap, ini berarti pada suhu yang tetap k_1/k_2 mempunyai harga yang tetap pula. Harga k_1/k_2 ini disebut tetapan kesetimbangan dan diberi simbol K_c (K_c adalah tetapan kesetimbangan dengan dasar konsentrasi). Jadi, untuk reaksi kesetimbangan:



mempunyai tetapan kesetimbangan:

$$K_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

Rumus ini disebut pernyataan dari hukum kesetimbangan.

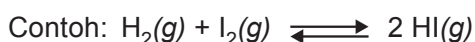
Hukum Kesetimbangan didefinisikan:

Tetapan kesetimbangan adalah perbandingan dari perkalian konsentrasi zat-zat hasil reaksi dengan zat-zat pereaksi di mana tiap konsentrasi dipangkatkan koefisien reaksinya. Karena konsentrasi zat yang memengaruhi laju reaksi hanya dari zat-zat yang homogen (gas atau larutan) maka yang berpengaruh atau disertakan dalam rumus tetapan kesetimbangan juga hanya zat-zat yang berupa gas atau larutan (yang homogen saja).

Macam-macam reaksi kesetimbangan

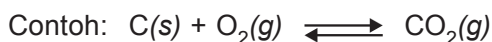
Berdasar keadaan zat atau tingkat wujud zat yang turut dalam reaksi setimbang dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Reaksi kesetimbangan homogen



$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

2. Reaksi kesetimbangan heterogen



$$K = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{O}_2]}$$



B. Faktor-faktor yang Memengaruhi Pergeseran Kesetimbangan

1. Perubahan konsentrasi

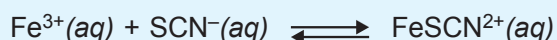
Apa yang terjadi pada sistem kesetimbangan jika konsentrasi salah satu komponen diubah oleh *pihak luar*?

Sebelum menjawab pertanyaan di atas, lakukan percobaan berikut.



Pengaruh Perubahan Konsentrasi pada Reaksi Kesetimbangan

Tujuan: menyelidiki pengaruh perubahan konsentrasi ion Fe^{3+} dan ion SCN^- pada reaksi kesetimbangan.

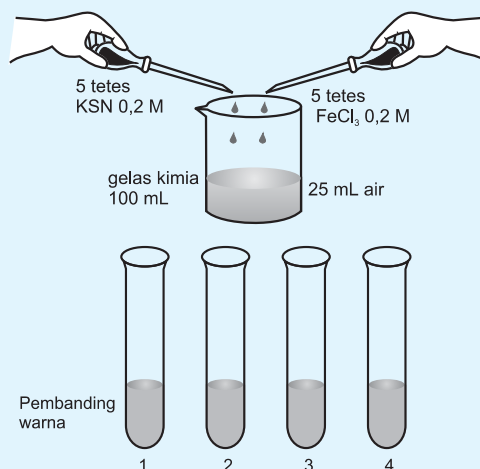


Alat dan Bahan

- Gelas kimia
- Tabung reaksi
- Rak tabung
- Pipet tetes
- Larutan FeCl_3 0,2 M, KSCN 0,2 M
- Kristal NaH_2PO_4
- Akuades

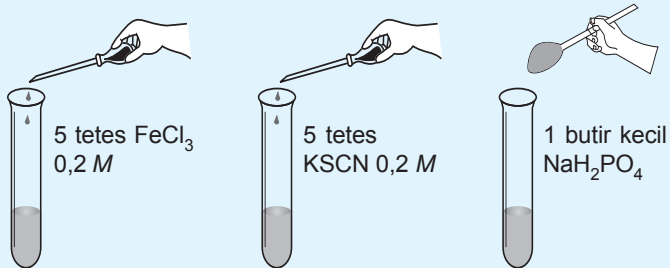
Cara Kerja

1. Campurkan larutan seperti pada gambar, aduk sampai rata kemudian bagi menjadi 4 tabung reaksi.



Pengamatan: Warna larutan yang terjadi =

2. Tambahkan 5 tetes FeCl_3 , KSCN , dan NaH_2PO_4 pada tabung 2, 3, dan 4. Bandingkan warna larutan yang terjadi dengan warna asal (tabung 1).



Tabel Pengamatan

Warna larutan setelah ditambah	Penyebab perubahan warna	Pergeseran kesetimbangan
$\text{FeCl}_3 = \dots$
$\text{KSCN} = \dots$
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 = \dots$

Pertanyaan

Berdasarkan percobaan tersebut, jawab pertanyaan berikut!

1. Jelaskan ke arah mana pergeseran kesetimbangan jika konsentrasi pereaksi ditambah!
2. Jelaskan ke arah mana pergeseran kesetimbangan jika konsentrasi dikurangi!
3. Bagaimana kesimpulanmu tentang pengaruh perubahan konsentrasi pada reaksi kesetimbangan?

2. Perubahan volume

Pada dasarnya perubahan volume berarti perubahan konsentrasi seluruh komponen dalam sistem kesetimbangan. Jika volume sistem diperkecil, jumlah mol per liter akan bertambah.

Apa yang akan terjadi jika volume sistem kesetimbangan diperbesar? Agar lebih jelas tentang pengaruh perubahan volume terhadap kesetimbangan, lakukan percobaan berikut.



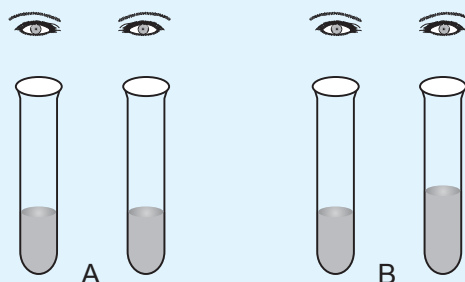
Pengaruh Perubahan Volume atau Pengenceran pada Reaksi Kesetimbangan

Alat dan Bahan

- Tabung reaksi
- Rak tabung reaksi
- Pipet tetes
- Larutan FeSCN^{2+}
- Air

Cara Kerja

1. Sediakan sistem kesetimbangan FeSCN^{2+} pada dua tabung reaksi dengan volume 5 mL. Amati warna pada kedua tabung dari atas tabung. Bandingkan warnanya (A)!
2. Tambahkan 5 mL air pada salah satu tabung. Amati lagi warnanya dari atas. Bandingkan warnanya (B)!



Pada tabung reaksi A dan tabung reaksi B terdapat sistem kesetimbangan $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})$.

Komponen mana yang menyebabkan larutan berwarna jingga coklat? Warna larutan pada tabung B lebih muda daripada warna larutan pada tabung reaksi A.

Pertanyaan

1. Bagaimana warna sistem kesetimbangan FeSCN^{2+} yang ditambah air apakah ada perbedaan dengan warna mula-mula?
2. Adakah pengaruh penambahan air pada sistem kesetimbangan? Jelaskan jawabanmu!
3. Adakah pengaruh penambahan air pada sistem bukan kesetimbangan?
4. Jelaskan pengaruh penambahan air atau volume larutan terhadap reaksi kesetimbangan!

Contoh soal

Pada reaksi $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$

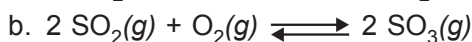
1. Jika konsentrasi CO ditambah reaksi akan bergeser ke mana?
2. Jika konsentrasi H_2O dikurangi reaksi akan bergeser ke mana?

Jawab:

1. Jika CO ditambah reaksi akan bergeser ke arah yang berlawanan, yaitu ke arah CO_2 dan H_2 .
2. Jika H_2O dikurangi, reaksi akan bergeser ke arah zat yang dikurangi yaitu ke arah CO_2 dan H_2O .

Latihan

1. Bergeser ke arah mana bila gas oksigen ditambahkan pada reaksi berikut?



2. Zat apa yang akan bertambah jika pada reaksi:



a. ion H^+ ditambah;

b. ion H^+ dikurangi?

3. Perubahan tekanan

Perubahan tekanan hanya berlaku untuk sistem kesetimbangan gas. Pada suhu tetap, volume gas berbanding terbalik dengan tekanannya. Jika volume diperbesar, maka tekanan gas menjadi kecil. Sebaliknya, jika volume diperkecil, maka tekanan gas menjadi besar.

Analog dengan volume, dapat diterima bahwa tekanan gas sebanding dengan konsentrasi komponen-komponen sistem kesetimbangan. Oleh karena itu, pengaruh perubahan tekanan (pada suhu tetap) ketentuannya sama dengan pengaruh perubahan volume hanya perumusannya dibalik.

4. Perubahan suhu

Pengaruh perubahan suhu terhadap kesetimbangan berkaitan dengan reaksi eksoterm dan reaksi endoterm.

Perhatikan reaksi berikut.

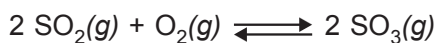


Apabila pada kesetimbangan suhu dinaikkan, sistem akan menurunkan suhu dengan cara menyerap kalor yang diberikan. Kesetimbangan akan bergeser ke pihak

yang menyerap panas, yaitu ke pihak NO_2 . Sebaliknya jika suhu diturunkan kesetimbangan akan bergeser ke pihak yang eksoterm (pihak yang membebaskan panas), yaitu ke pihak N_2O_4 .

5. Katalis

Katalis dapat mempercepat atau memperlambat terjadinya reaksi, namun tidak memengaruhi baik letak kesetimbangan maupun harga tetapan setimbang. Jadi, katalis hanya mempercepat tercapainya keadaan setimbang. Contoh:



Reaksi tersebut dapat berlangsung lebih cepat jika ditambah katalis, yaitu vanadium pentoksida (V_2O_5).



C. Pergeseran Kesetimbangan (Asas Le Chatelier)

Jika kita ingin memproduksi suatu zat melalui reaksi kimia, misalnya pembuatan barang-barang industri, sudah tentu kita menginginkan agar zat yang diproduksi itu terbentuk sebanyak mungkin. Dengan perkataan lain, kita menginginkan agar reaksi berlangsung ke arah kanan.

(Ingat: dalam setiap reaksi kimia, zat-zat hasil reaksi senantiasa dituliskan di ruas kanan!)

Suatu reaksi kesetimbangan dapat kita geser ke arah yang kita kehendaki, dengan cara melakukan aksi-aksi (tindakan-tindakan) tertentu. Aksi atau tindakan yang dapat kita lakukan itu meliputi:

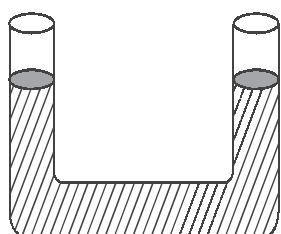
1. Perubahan konsentrasi zat.
2. Perubahan volume gas atau tekanan gas.
3. Perubahan suhu.

Jika kita ingin agar hasil reaksi banyak terbentuk, kita harus menggeser reaksi ke arah kanan. Sebaliknya, jika kita ingin mengurangi jumlah hasil reaksi, kita harus menggeser reaksi ke arah kiri.

Untuk mengetahui efek atau pengaruh dari aksi yang kita lakukan, kita perlu menggunakan suatu asas yang dirumuskan oleh Henri Louis Le Chatelier (1850–1936), yang dikenal sebagai **Asas Le Chatelier**.

Jika terhadap suatu kesetimbangan dilakukan aksi-aksi tertentu, maka reaksi akan bergeser untuk menghilangkan pengaruh aksi tersebut.

Artinya, suatu sistem kesetimbangan akan berusaha mempertahankan keadaannya untuk tetap setimbang. Untuk memahami hakikat kesetimbangan, perhatikan contoh sederhana berikut.



Gambar 4.4 Bejana U

Misalkan kita mempunyai bejana bentuk huruf U yang berisi air, seperti pada gambar 4.4. Oleh karena permukaan air di ruas kiri sama tingginya dengan permukaan air di ruas kanan, kita boleh mengatakan bahwa air dalam bejana itu berada dalam keadaan kesetimbangan. Apabila kita “mengganggu” kesetimbangan itu dengan melakukan aksi tertentu, misalnya menambahkan air dari luar kepada salah satu ruas, sudah tentu akan terjadi pergeseran jumlah air, supaya keadaannya tetap setimbang. Jika ke ruas kiri kita tambahkan air, maka ruas kiri akan memberikan sebagian airnya ke ruas kanan. Tetapi jika air di ruas kiri sebagian kita kurangi (diambil ke luar), maka ruas kiri akan mengambil sebagian air dari ruas kanan.

Berdasarkan contoh di atas, kita dapat merumuskan Asas Le Chatelier dengan suatu kalimat yang lebih sederhana sebagai berikut.

Jika diberi, dia akan memberi. Jika diambil, dia akan mengambil.

Sekarang marilah kita gunakan asas Le Chatelier untuk membahas pengaruh perubahan konsentrasi, perubahan volume/tekanan, dan perubahan suhu terhadap suatu reaksi kesetimbangan.

1. Perubahan konsentrasi

Perhatikan reaksi $A + B \rightleftharpoons C$!

Jika zat A kita tambahkan ke dalam campuran, berarti kita memperbesar konsentrasi zat A. Sesuai dengan asas *jika diberi, dia akan memberi*, maka terjadi pergeseran ke arah kanan, sehingga zat C lebih banyak terbentuk.

Jika zat B sebagian kita ambil (pisahkan) dari campuran, berarti kita memperkecil konsentrasi zat B. Sesuai dengan asas *jika diambil, dia akan mengambil*, maka reaksi akan bergeser ke kiri, sehingga zat C akan berkurang.

Terjadi pergeseran kesetimbangan pada perubahan konsentrasi zat dalam kesetimbangan adalah untuk mempertahankan agar harga K tetap.

$$K = \frac{[C]}{[A][B]}$$

Jika $[A]$ ditambah (diperbesar), maka agar harga K tetap harus ada yang bergeser ke C. Dan jika $[A]$ dikurangi, agar harga K tetap, maka harus ada yang bergeser ke A. Perhatikan dari rumusan K , jika A diperbesar dan tidak bergeser, maka harga K akan makin kecil. Pergeseran kesetimbangan berhenti jika harga K sudah sama seperti sebelum ada perubahan.

Dengan demikian kita dapat merumuskan pengaruh perubahan konsentrasi terhadap suatu kesetimbangan sebagai berikut.

Jika salah satu zat konsentrasinya diperbesar (ditambah), maka reaksi akan bergeser dari arah zat tersebut. Jika salah satu zat konsentrasinya diperkecil (dikurangi), maka reaksi bergeser ke arah zat tersebut.

Jadi, jika kita menginginkan agar hasil reaksi terbentuk sebanyak mungkin, maka zat-zat di ruas kiri (pereaksi) harus ditambahkan terus-menerus ke dalam campuran, dan pada saat yang sama zat-zat di ruas kanan (hasil reaksi) harus segera dipisahkan dari campuran.

2. Perubahan tekanan gas/perubahan volume gas

Perubahan tekanan hanya berpengaruh pada gas-gas. Untuk fase padat dan fase cair, pengaruh perubahan tekanan dapat diabaikan. Hukum yang dirumuskan oleh **Robert Boyle** (1627–1691) menyatakan *bahwa pada suhu tetap, tekanan gas berbanding terbalik dengan volume gas*. Oleh karena itu, memperbesar tekanan gas berarti memperkecil volume gas tersebut.

Pengaruh dari perubahan tekanan gas terhadap suatu kesetimbangan dapat dirumuskan sebagai berikut.



$$K = \frac{[\text{C}]}{[\text{A}][\text{B}]} = \frac{(\text{mol C}/v)}{(\text{mol A}/v)(\text{mol B}/v)} = \frac{(\text{mol C}) \times v}{(\text{mol A})(\text{mol B})}$$

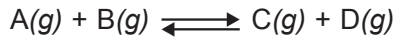
Jika volume diperbesar, agar harga K tetap maka harus ada yang bergeser ke A dan B (jumlah koefisien besar), dan jika volume diperkecil, agar harga K tetap maka harus ada yang bergeser ke C (jumlah koefisien kecil).

Perhatikan jika tidak bergeser, volume diperbesar harga K akan makin besar.

Untuk diingat: Jika volume diperbesar (tekanan diperkecil), maka akan bergeser ke jumlah koefisien yang besar.

Jika volume diperkecil (tekanan diperbesar), maka akan bergeser ke jumlah koefisien yang kecil.

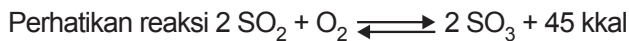
Bagaimana kalau jumlah koefisien kanan dan kiri sama?



$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]} = \frac{(\text{mol C}/v)(\text{mol D}/v)}{(\text{mol A}/v)(\text{mol B}/v)} = \frac{\text{mol C} \cdot \text{mol D}}{\text{mol A} \cdot \text{mol B}}$$

Harga K tidak dipengaruhi volume, maka volume/perubahan tekanan tidak akan menggeser kesetimbangan.

3. Perubahan suhu



Reaksi pembuatan SO_3 di atas merupakan reaksi *eksoterm*, sebab memiliki kalor reaksi positif. Sudah tentu reaksi ke arah kiri merupakan reaksi *endoterm*. Sehingga zat SO_3 disebut zat eksoterm (suatu zat yang pada proses pembentukannya menghasilkan kalor) dan zat SO_2 dan O_2 disebut zat endoterm (suatu zat yang pada proses terbentuknya memerlukan kalor).

Jika suhu dinaikkan, berarti kita menambahkan kalor atau memberikan kalor, berarti harus bergeser ke zat yang memerlukan (zat endoterm). Berarti bergeser ke SO_2 dan O_2 (ke kiri).

Jika suhu diturunkan, maka akan bergeser ke zat yang mengeluarkan kalor (zat eksoterm). Berarti bergeser ke SO_3 (ke kanan).

Pergeseran ini karena sifat zat yang endoterm atau zat yang eksoterm, akibatnya harga K akan berubah.

Dengan perubahan suhu, jika reaksi bergeser ke kanan, maka hasil reaksi bertambah dan pereaksi berkurang, dengan demikian harga K akan bertambah besar.

Dan jika reaksi bergeser ke kiri, maka hasil reaksi berkurang dan pereaksi bertambah, maka harga K akan berkurang.

4. Peranan katalis dalam reaksi kesetimbangan

Sesuai dengan fungsinya sebagai zat yang mempercepat reaksi, katalis berfungsi mempercepat tercapainya kesetimbangan, dengan cara mempercepat reaksi maju dan reaksi balik sama besar. Jadi, katalis berfungsi pada awal reaksi (sebelum kesetimbangan tercapai).

Jika laju reaksi maju = laju reaksi balik (setelah kesetimbangan tercapai), maka katalis berhenti berfungsi. Katalis hanya mampu mempercepat reaksi, tetapi tidak dapat membuat reaksi. Jadi, katalis tidak dapat menggeser reaksi yang telah setimbang.



D. Hubungan Kuantitatif antara Pereaksi dan Hasil Reaksi pada Reaksi Kesetimbangan

Tetapan kesetimbangan memberi informasi tentang posisi kesetimbangan, selain itu juga berguna untuk meramalkan arah reaksi.

1. Kesetimbangan disosiasi

Untuk reaksi kesetimbangan disosiasi, besarnya fraksi yang terdisosiasi dinyatakan dalam derajat disosiasi (α).

$$\alpha = \frac{\text{Jumlah mol zat terdisosiasi}}{\text{Jumlah mol zat mula-mula}}$$

Contoh soal:

1. Dalam ruang 1 liter dipanaskan 0,06 mol gas PCl_5 menurut reaksi: $\text{PCl}_5(g) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(g) + \text{Cl}_2(g)$

Jika derajat disosiasi $\text{PCl}_5 = \frac{1}{6}$, maka tentukan harga K_c !

Jawab:

	$\text{PCl}_5(g)$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3(g)$	+	$\text{Cl}_2(g)$
Mula-mula:	0,06 mol		0		0
Yang bereaksi:	0,01 mol		-		-
Setimbang:	0,05 mol		0,01 mol		0,01 mol

$$\alpha = \frac{R}{M}$$

$$R = \alpha \cdot M$$

$$= \frac{1}{6} \cdot 0,06$$

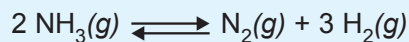
$$= 0,01 \text{ mol}$$

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]}$$

$$= \frac{\left(\frac{0,01}{1}\right) \left(\frac{0,01}{1}\right)}{\left(\frac{0,05}{1}\right)}$$

$$= 0,002$$

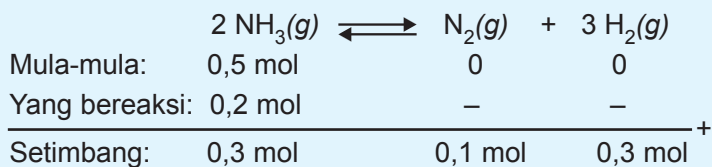
2. Pada reaksi peruraian 0,5 mol gas NH_3 ke dalam ruang 2 liter menurut reaksi:



Pada saat terjadi kesetimbangan diperoleh 0,3 mol gas H_2 . Tentukan:

- a. K_c ;
b. α !

Jawab:



$$[\text{NH}_3] = \frac{0,3 \text{ mol}}{2 \text{ liter}} = 0,15 \text{ M}$$

$$[\text{N}_2] = \frac{0,1 \text{ mol}}{2 \text{ liter}} = 0,05 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2] = \frac{0,3 \text{ mol}}{2 \text{ liter}} = 0,15 \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{a. } K_c &= \frac{[\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3}{[\text{NH}_3]^2} \\ &= \frac{(0,05)(0,15)^3}{(0,15)^2} \\ &= 7,5 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\text{b. } \alpha = \frac{R}{M} = \frac{0,2 \text{ mol}}{0,5 \text{ mol}} = 0,4$$

Untuk reaksi gas, tetapan kesetimbangan dapat dinyatakan dengan tekanan parsial gas (K_p).

Secara umum: $m \text{A}(g) + n \text{B}(g) \rightleftharpoons p \text{C}(g) + q \text{D}(g)$

$$K_p = \frac{P(\text{C})^p \cdot P(\text{D})^q}{P(\text{A})^m \cdot P(\text{B})^n}$$

$$P_{\text{total}} = P_{(\text{A})} + P_{(\text{B})} + P_{(\text{C})} + P_{(\text{D})}$$

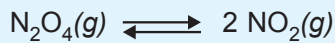
Contoh soal:

Dalam ruang tertutup terdapat kesetimbangan antara 2 mol $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ dan 4 mol $\text{NO}_2(g)$ menurut reaksi:



Bila tekanan total gas 6 atm, maka tentukan harga K_p !

Jawab:



$$\text{mol total} = (2 + 4) \text{ mol} = 6 \text{ mol}$$

$$P \text{ N}_2\text{O}_4 = \frac{2 \text{ mol}}{6 \text{ mol}} \times 6 \text{ atm} = 2 \text{ atm}$$

$$P \text{ NO}_2 = \frac{4 \text{ mol}}{6 \text{ mol}} \times 6 \text{ atm} = 4 \text{ atm}$$

$$K_p = \frac{P (\text{NO}_2)^2}{P (\text{N}_2\text{O}_4)} = \frac{(4)^2}{(2)} = 8$$

2. Hubungan K_p dan K_c

Tekanan parsial gas bergantung pada konsentrasi.
Dari persamaan gas ideal:

$$PV = n \cdot R \cdot T \quad \text{atau} \quad P = \frac{n}{V} \cdot R \cdot T$$

$$\frac{n}{V} = \text{konsentrasi (C)}$$

$$\text{maka } P = C \cdot R \cdot T$$

sehingga diperoleh hubungan:

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

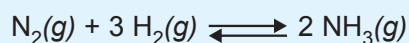
Keterangan:

R = tetapan gas = $0,0821 \text{ atm} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Δn = koefisien produk – reaktan

Contoh soal:

Dalam ruang 1 liter dan suhu 27°C dimasukkan 0,2 mol gas nitrogen dan 0,5 mol gas hidrogen menurut reaksi:



Pada keadaan setimbang terbentuk 0,2 mol gas NH_3 .

Tentukan:

1. K_c ;

2. K_p !

Jawab:

	$\text{N}_2(\text{g})$	+	$3 \text{H}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$2 \text{NH}_3(\text{g})$
Mula-mula:	0,2 mol		0,5 mol		0
Yang bereaksi:	0,1 mol		0,3 mol		–
Setimbang:	0,1 mol		0,2 mol		0,2 mol

$$\text{a. } K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = \frac{(0,2 \text{ mol/liter})^2}{(0,1 \text{ mol/liter})(0,2 \text{ mol/liter})^3}$$
$$= 50$$

$$\text{b. } K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$$
$$= 50 (0,082 \cdot 300)^{-2}$$
$$= 0,083 \text{ atm}$$



E. Aplikasi Kesetimbangan Kimia dalam Industri

Agar suatu zat dihasilkan sebanyak mungkin, suatu reaksi kimia harus diusahakan supaya berlangsung ke arah hasil reaksi (ke arah kanan). Jika reaksinya merupakan reaksi kesetimbangan, maka faktor-faktor konsentrasi, suhu, tekanan gas, dan katalis harus diperhitungkan agar reaksi itu berlangsung cepat dan ekonomis.

Dalam hal ini, kita mencoba meninjau dua proses yang sangat penting di bidang industri kimia, yaitu pembuatan amonia menurut proses Haber-Bosch dan pembuatan asam sulfat menurut proses kontak.

1. Proses Haber-Bosch

Fritz Haber (1868–1934) dari Jerman adalah orang yang mula-mula berhasil mensintesis amonia dari gas-gas nitrogen dan hidrogen, sehingga ia mendapat hadiah Nobel tahun 1918. Proses pembuatan amonia ini lalu disempurnakan oleh rekan senegaranya, **Karl Bosch** (1874–1940), yang juga meraih hadiah Nobel tahun 1931. Itulah sebabnya proses pembuatan amonia dikenal sebagai proses Haber-Bosch.

Reaksi yang berlangsung sebagai berikut.



Pada suhu biasa, reaksi ini berjalan lambat sekali. Jika suhu dinaikkan, maka reaksi akan berlangsung jauh lebih cepat. Akan tetapi, kenaikan suhu menyebabkan reaksi bergeser ke kiri (mengapa?), sehingga mengurangi hasil NH_3 . Dengan memperhitungkan faktor-faktor waktu dan hasil, maka suhu yang digunakan adalah 500°C .

Untuk mempercepat tercapainya kesetimbangan, dipakai katalis oksida-oksida besi. Agar reaksi bergeser ke kanan, tekanan yang digunakan haruslah tinggi. Tekanan 200 atm akan memberikan hasil NH_3 15%, tekanan 350 atm menghasilkan NH_3 30%, dan tekanan 1.000 atm akan mendapatkan NH_3 40%.

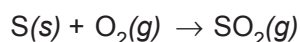
Selama proses berlangsung, gas-gas nitrogen dan hidrogen terus-menerus ditambahkan ke dalam campuran. Sedangkan NH_3 yang terbentuk harus segera dipisahkan dari campuran dengan cara mengembunkannya, sebab titik didih NH_3 jauh lebih tinggi daripada titik didih N_2 dan H_2 .

Proses Haber-Bosch merupakan proses yang cukup penting dalam dunia industri, sebab amonia merupakan bahan utama dalam pembuatan berbagai barang, misalnya pupuk urea, asam nitrat, dan senyawa-senyawa nitrogen lainnya. Amonia juga sering dipakai sebagai pelarut, karena kepolaran amonia cair hampir menyamai kepolaran air.

2. Pembuatan asam sulfat menurut proses kontak

Asam sulfat digunakan pada industri baja untuk menghilangkan karat besi sebelum baja dilapisi timah atau seng; pada pembuatan zat warna, obat-obatan; pada proses pemurnian logam dengan cara elektrolisis; pada industri tekstil, cat, plastik, akumulator, bahan peledak, dan lain-lain. Pendeknya, banyaknya pemakaian asam sulfat di suatu negara telah dipakai sebagai ukuran kemakmuran negara tersebut.

Pada pembuatan asam sulfat menurut proses kontak, bahan yang dipakai adalah belerang murni yang dibakar di udara reaksinya sebagai berikut.



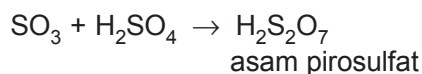
SO₂ yang terbentuk dioksidasi di udara dengan memakai katalisator. Reaksinya berbentuk kesetimbangan:



Dahulu dipakai serbuk platina sebagai katalis. Tetapi sekarang dipakai katalis V₂O₅ (vanadium pentaoksida) yang lebih murah.

Menurut kesetimbangan di atas, makin rendah suhunya makin banyak SO₃ yang dihasilkan. Akan tetapi, sama seperti pembuatan amonia, pada suhu rendah reaksi berjalan lambat. Dengan memperhitungkan faktor-faktor waktu dan hasil, dipilih suhu 400 °C karena hasil yang diperoleh pada suhu ini kira-kira 98%. Itulah sebabnya reaksi ini tidak perlu dilaksanakan pada tekanan tinggi.

Oleh karena gas SO₃ agak sukar larut dalam air, maka SO₃ dilarutkan dalam H₂SO₄ pekat. Jadi, pada pembuatan H₂SO₄, bahan yang ikut digunakan juga H₂SO₄.



Asam piro-sulfat kemudian disirami air:





Rangkuman

1. Reaksi *irreversible* adalah reaksi yang berlangsung satu arah atau tidak dapat balik.
2. Reaksi *reversible* adalah reaksi yang berlangsung bolak-balik.
3. Keadaan kesetimbangan
Kecepatan reaksi pembentukan zat-zat produk sama dengan kecepatan reaksi pembentukan zat-zat reaktan.
4. Kesetimbangan dinamis:
Reaksi berlangsung terus-menerus dari dua arah yang berlawanan, tidak terjadi perubahan makroskopis melainkan selalu terjadi perubahan mikroskopis dan dicapai pada sistem tertutup.
5. Beberapa pengaruh yang dapat mengganggu letak kesetimbangan adalah perubahan konsentrasi, perubahan tekanan, perubahan volume, dan perubahan suhu.
6. Menurut asas Le Chatelier:
Faktor-faktor yang dapat memengaruhi kesetimbangan adalah perubahan konsentrasi, suhu, tekanan, atau volume. Perubahan ini diungkapkan pertama kali oleh Le Chatelier.
7. Di industri kimia, banyak reaksi-reaksi kimia yang berada dalam setimbang sehingga perlu dilakukan upaya-upaya untuk menggeser keadaan kesetimbangan ke arah produk sebanyak-banyaknya melalui pengaturan suhu, tekanan, dan katalis.
8. Tetapan kesetimbangan kimia adalah suatu nilai tetapan dari reaksi kesetimbangan yang merupakan perbandingan konsentrasi produk terhadap konsentrasi pereaksi, masing-masing dipangkatkan dengan koefisien reaksinya.
9. Harga tetapan kesetimbangan diperoleh dari hukum aksi massa. Per-samaannya dinamakan hukum kesetimbangan kimia. Harga tetapan kesetimbangan tetap selama suhu reaksi tidak berubah.
10. Kesetimbangan kimia dalam sistem heterogen untuk zat padat murni atau cairan murni tidak berubah, sehingga tidak memengaruhi nilai tetapan kesetimbangan.