

Suwardi  
Soebiyanto  
Th. Eka Widiasih

Suwardi  
Soebiyanto  
Th. Eka Widiasih



Panduan Pembelajaran

# Kimia

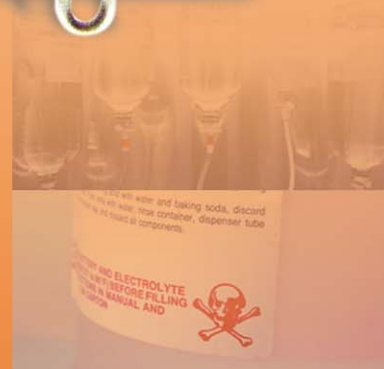
Untuk SMA & MA

Kelas

**XI**



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional



Panduan Pembelajaran Kimia XI

SMA & MA

**PANDUAN PEMBELAJARAN**

# **KIMIA 11**

**Untuk SMU & MA**



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta Pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi oleh Undang-Undang

# Panduan Pembelajaran Kimia XI

## Untuk SMA & MA

**Penulis:**

Suardi, Soebiyanto, Th. Eka Widiasih

**Editor:**

Siti Mukaromah

**Setting/Lay Out:**

El-Ibrahim

**Perwajahan:**

Wahyudin Miftakhul Anwar

**Ilustrator:**

Adi Wahyono

**Sumber Sampul:**

Chemistry Seventh Edition

540.7

SUW

p

SUWARDI

Panduan Pembelajaran Kimia : Untuk SMA & MA Kelas XI  
/ penulis, Suardi, Soebiyanto, Th. Eka Widiasih ; editor, Siti  
Mukaromah ; ilustrator, Adi Wahyono. — Jakarta : Pusat  
Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009  
vi, 218 hlm. : ilus. ; 25 cm.

Bibliografi : hlm. 203-204

Indeks

ISBN 978-979-068-717-2 (No. Jil. Lengkap)

ISBN 978-979-068-719-6

1. Kimia-Studi dan Pengajaran I. Judul

II. Soebiyanto III. Th. Eka Widiasih V. Siti Mukaromah

VI. Adi Wahyono

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional  
dari Penerbit : CV. Karya Mandiri Nusantara

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan  
Departemen Pendidikan Nasional  
Tahun 2009

Diperbanyak oleh : ...

## Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2009, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 9 Tahun 2009 tanggal 12 Februari 2009.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Juni 2009  
Kepala Pusat Perbukuan

## Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan buku ***Panduan Pembelajaran Kimia XI*** untuk Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah.

Buku ini disusun menggunakan pendekatan pembelajaran kontekstual (*Contextual Teaching and Learning*). Materi disajikan menggunakan bahasa yang mudah dipahami, serta setiap kajian dilengkapi dengan arahan tugas yang dapat dilakukan siswa. Hal ini dimaksudkan agar siswa dapat membuat hubungan antara pengetahuan yang dimiliki dengan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Soal-soal latihan juga diberikan guna mengetahui sejauhmana siswa mencapai kompetensinya.

Penyusun telah berupaya semaksimal mungkin untuk berkarya dengan harapan buku ini dapat digunakan sebagai pegangan guru dan siswa dalam proses pembelajarannya, khususnya untuk materi kimia. Tidak lupa kami ucapkan terima kasih dan rasa penghargaan yang setinggi-tingginya kepada guru dan siswa yang menggunakan buku ini. Kritik dan saran yang membangun akan sangat membantu kami demi kesempurnaan buku ini.

Jakarta, Mei 2007

Penulis

# Daftar Isi

<b>Katalog Dalam Terbitan (KDT)</b> .....	<b>ii</b>
<b>Kata Sambutan</b> .....	<b>iii</b>
<b>Kata Pengantar</b> .....	<b>iv</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>v</b>
<b>Bab I Teori Atom Mekanika Kuantum dan Bentuk Molekul</b> .....	<b>1</b>
A. Teori Atom Mekanika Kuantum .....	3
B. Konfigurasi Elektron .....	9
C. Bentuk Molekul .....	16
D. Gaya Antarmolekul .....	23
<b>Bab II Termokimia</b> .....	<b>31</b>
A. Entalpi dan Perubahan Entalpi .....	33
B. Penentuan Perubahan Entalpi.....	39
C. Energi Bahan Bakar dan Perubahan Entalpi .....	48
<b>Bab III Laju Reaksi</b> .....	<b>55</b>
A. Konsep Laju Reaksi .....	57
B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Reaksi ..	60
C. Persamaan Laju Reaksi .....	69
<b>Bab IV Keseimbangan Kimia</b> .....	<b>81</b>
A. Konsep Keseimbangan .....	83
B. Tetapan Keseimbangan.....	89
C. Keseimbangan dalam Industri.....	100

<b>Evaluasi Semester I .....</b>	<b>107</b>
<b>Bab V Larutan Asam dan Basa .....</b>	<b>113</b>
A. Konsep Asam Basa .....	115
B. Sifat Asam dan Basa .....	121
C. Reaksi Asam dan Basa .....	131
<b>Bab VI Kestimbangan Ion dalam Larutan .....</b>	<b>139</b>
A. Larutan Penyangga .....	141
B. Hidrolisis Garam .....	150
C. Pengendapan dan Hasil Kali Kelarutan .....	157
<b>Bab VII Sistem Koloid .....</b>	<b>167</b>
A. Macam Sistem Koloid .....	169
B. Sifat-sifat Koloid .....	174
C. Pembuatan Sistem Koloid .....	182
<b>Evaluasi Semester II .....</b>	<b>191</b>
<b>Evaluasi Akhir .....</b>	<b>194</b>
<b>Glosarium .....</b>	<b>200</b>
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>203</b>
<b>Indeks .....</b>	<b>205</b>
<b>Lampiran .....</b>	<b>207</b>
<b>Kunci .....</b>	<b>217</b>

# Bab I

## Teori Atom Mekanika Kuantum dan Bentuk Molekul

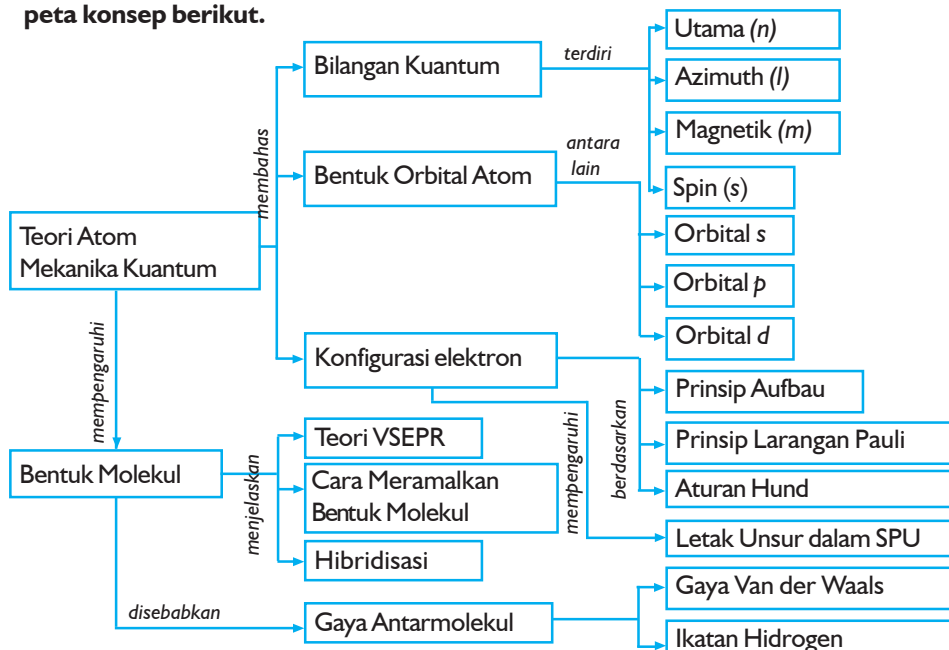
Sumber gambar: *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mengidentifikasi struktur atom untuk meramalkan sifat-sifat periodik unsur sesuai mekanika kuantum, struktur molekul, dan sifat-sifat senyawa.

### Peta Konsep

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut, perhatikanlah peta konsep berikut.



### Kata Kunci

Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini. Berikut ini adalah kata kunci dalam bab I.

Bilangan kuantum  
Elektron valensi  
Gaya dispersi

Gaya Van der Waals  
Hibridisasi  
Konfigurasi elektron

Mekanika kuantum  
Orbital





Sumber: Oxford Ensiklopedi

**Gambar 1.1** Cahaya kembang api ditentukan dari bahan kimianya

Kalian tentu pernah menyaksikan pertunjukan kembang api, bukan? Entah itu kalian saksikan secara langsung atau hanya dari layar televisi. Hampir di setiap acara pergantian tahun atau acara-acara khusus tertentu selalu dimeriahkan dengan pertunjukan kembang api. Kalian bisa menikmati keindahan pancaran cahaya warna-warni di langit. Tahukah kalian, bagaimana cahaya tersebut dihasilkan? Bahan kimia apakah yang terdapat dalam kembang api?

Ternyata dari hasil studi tentang nyala unsur, pancaran cahaya kembang api dihasilkan dari pembakaran bahan-bahan kimia yang ada dalam kembang api. Misalnya jika dalam kembang api ada unsur natrium yang terbakar, maka akan dipancarkan cahaya kuning. Unsur kalsium memancarkan cahaya oranye. Cahaya merah dihasilkan dari unsur litium dan stronsium. Unsur yang berbeda akan memancarkan cahaya yang berbeda pula.

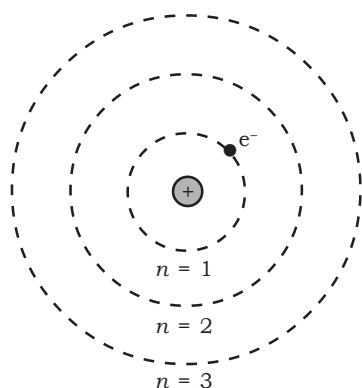
Warna nyala yang spesifik dari tiap unsur ini berkaitan dengan kedudukan elektron dalam atom. Bagaimanakah sebenarnya kedudukan elektron di dalam atom? Nah, pada bab ini, kalian akan dikenalkan dengan teori atom paling mutakhir, yaitu mekanika kuantum yang akan membantu kalian menjawab pertanyaan tersebut.

## A. Teori Atom Mekanika Kuantum

Teori tentang struktur atom terus mengalami perkembangan. Kalian tentu masih ingat teori-teori atom yang pernah dikemukakan oleh para ahli sebelumnya, bukan? Di kelas X, kalian telah belajar tentang teori atom yang dikemukakan oleh **Niels Bohr** (1913). Teori atom Bohr didasarkan pada teori kuantum Max Planck.

Bohr menggunakan model atom hidrogen untuk menggambarkan struktur atom. Ia menyatakan bahwa elektron bergerak mengelilingi inti atom pada lintasan yang memiliki tingkat energi tertentu. Kalian dapat membayangkan model atom Bohr seperti sistem tata surya kita.

Elektron-elektron yang mengelilingi inti seperti planet-planet yang bergerak mengelilingi matahari. Bohr menamakan lintasan elektron sebagai kulit atom. Setiap kulit diberi nomor  $n = 1, 2, 3$ , dan seterusnya, dan dinyatakan dengan lambang K, L, M, dan seterusnya. Lintasan yang paling stabil adalah lintasan yang paling dekat dengan inti ( $n = 1$ ).



**Sumber:** Kimia Universitas Azas dan Struktur

**Gambar 1.2** Model atom Bohr

### Ilmuwan Kimia

Menumbuhkan Etos Kerja

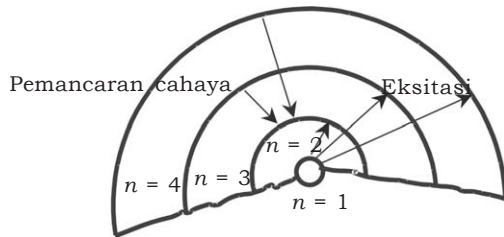


Niels Bohr (1885-1962) dilahirkan di Kopenhagen, Denmark berhasil menemukan teori

struktur atom (1911) dan model tetes cair untuk inti atom. Bohr adalah orang pertama yang menerapkan teori kuantum untuk mengatasi masalah struktur atom. Bohr sangat berjasa dalam perkembangan fisika kuantum dan pemahaman mengenai struktur atom. Pada tahun 1922, Niels Bohr mendapat hadiah nobel bidang fisika untuk jasanya dalam mengembangkan teori struktur atom.

**Sumber:** Ensiklopedi Umum untuk Pelajar

Elektron di dalam atom dapat berpindah dari satu lintasan ke lintasan lainnya. Jika atom hidrogen mendapat energi (misalnya dengan dipanaskan), maka elektronnya akan menyerap energi dan berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi (mengalami eksitasi). Elektron dalam keadaan ini tidak stabil sehingga akan segera berpindah ke tingkat energi lebih rendah dengan memancarkan energi dalam bentuk cahaya.



Sumber: Kimia Dasar, Prinsip dan Terapan Modern

**Gambar 1.3** Proses pemancaran atom hidrogen

Pemancaran cahaya pada unsur-unsur seperti natrium atau kalsium pada kembang api juga terjadi dengan cara yang sama. Ketika unsur tersebut mendapat energi pada waktu terbakar, maka elektronnya akan tereksitasi dan segera kembali ke tingkat energi lebih rendah dengan memancarkan cahaya. Dari hasil percobaan, teori atom Bohr tidak sesuai jika diterapkan pada atom yang memiliki lebih dari satu elektron. Kelemahan model atom Bohr mendorong para ahli mengadakan penelitian lebih lanjut sampai akhirnya lahir teori mekanika kuantum.

Perkembangan teori atom mekanika kuantum berawal dari penemuan **Louis de Broglie** (1924) tentang sifat elektron. Menurut de Broglie, elektron dapat bersifat sebagai partikel dan juga sebagai gelombang. Adanya sifat gelombang dari elektron ini menunjukkan bahwa elektron sebenarnya tidak bergerak dalam lintasan dengan tingkat energi tertentu, melainkan tersebar di dalam ruang atom.

Sifat gelombang elektron dijelaskan oleh **Erwin Schrodinger** (1926) dalam teorinya yang kemudian dikenal sebagai teori **mekanika kuantum** (atau disebut juga mekanika gelombang). Schrodinger menggunakan persamaan matematik yang disebut fungsi gelombang (dilambangkan dengan  $\psi$ , psi) untuk menyatakan bentuk dan energi gelombang elektron. Persamaan gelombang Schrodinger memberikan gambaran daerah ditemukannya elektron dalam ruang atom. Daerah dengan peluang terbesar untuk menemukan elektron disebut **orbital**. Peluang menemukan elektron ditunjukkan dengan kerapatan elektron di daerah itu. Istilah orbital dalam mekanika kuantum menunjuk pada ruang tiga dimensi. Berbeda dengan istilah orbit yang digunakan oleh Bohr, yang menunjuk pada ruang dua dimensi.

## 1. Bilangan Kuantum

Pengetahuan mengenai model atom mekanika kuantum akan membantu kalian mengetahui gambaran yang jelas dari kedudukan elektron di dalam atom. Menurut mekanika kuantum, kedudukan elektron dalam orbital atom ditunjukkan oleh empat bilangan kuantum, yaitu bilangan kuantum utama, bilangan kuantum azimuth, bilangan kuantum magnetik, dan bilangan kuantum spin.

### a. Bilangan Kuantum Utama ( $n$ )

Bilangan kuantum utama ( $n$ ) menunjukkan kulit atom dan menentukan tingkat energi elektron. Bilangan kuantum utama juga menentukan ukuran orbital. Semakin besar harga  $n$ , maka ukuran orbital akan semakin besar. Bilangan kuantum utama memiliki harga 1, 2, 3, dan seterusnya.

#### Contoh:

$n = 1$  menunjukkan elektron menempati kulit K,

$n = 2$  menunjukkan elektron menempati kulit L,

$n = 3$  menunjukkan elektron menempati kulit M, dan seterusnya.

### b. Bilangan Kuantum Azimuth ( $l$ )

Dalam model atom mekanika kuantum, setiap kulit terdiri dari satu atau lebih subkulit. Masing-masing subkulit yang ditempati elektron ditunjukkan oleh bilangan kuantum azimuth ( $l$ ). Bilangan kuantum azimuth juga menentukan bentuk orbital. Berbagai macam bentuk orbital akan kalian pelajari setelah ini. Harga bilangan kuantum azimuth bergantung pada harga  $n$ , yaitu dari 0 sampai  $(n - 1)$ .

$$\text{Harga } l = 0, 1, 2, \dots, (n - 1)$$

#### Contoh:

Jika  $n = 1$  (kulit K), maka harga  $l$  yang mungkin adalah  $l = 0$  (ada satu subkulit).

Jika  $n = 2$  (kulit L), maka harga  $l$  yang mungkin adalah  $l = 0$  dan 1 (ada dua subkulit).

Jika  $n = 3$  (kulit M), maka harga  $l$  yang mungkin adalah  $l = 0, 1,$  dan 2 (ada tiga subkulit).

Jika  $n = 4$  (kulit N), maka harga  $l$  yang mungkin adalah  $l = 0, 1, 2,$  dan 3 (ada empat subkulit).

Setiap subkulit yang memiliki harga berbeda-beda ini diberi nama khusus, yaitu:

Untuk  $l = 0$ , dinamakan subkulit  $s$  ( $s = sharp$ )

Untuk  $l = 1$ , dinamakan subkulit  $p$  ( $p = principle$ )

Untuk  $l = 2$ , dinamakan subkulit  $d$  ( $d = diffuse$ )

Untuk  $l = 3$ , dinamakan subkulit  $f$  ( $f = fundamental$ )

Untuk  $l = 4, 5$ , dan seterusnya (jika mungkin), dinamakan subkulit  $g, h$ , dan seterusnya.

### c. Bilangan Kuantum Magnetik ( $m$ )

Bilangan kuantum magnetik ( $m$ ) menunjukkan orientasi orbital dalam ruang relatif terhadap orbital lain. Setiap subkulit bisa terdiri dari satu atau lebih orbital dan masing-masing dibedakan berdasarkan harga  $m$ . Harga bilangan kuantum magnetik bergantung pada harga  $l$ , yaitu dari  $-l$  sampai  $+l$ . Jumlah orbital yang terdapat dalam subkulit, yaitu  $(2l + 1)$ .

Harga  $m = -l, (-l + 1), \dots, 0, \dots, (+l - 1), +l$

#### Contoh:

Jika  $l = 0$  (subkulit  $s$ ), maka harga  $m = 0$  dan terdapat 1 orbital.

Jika  $l = 1$  (subkulit  $p$ ), maka harga  $m = -1, 0, +1$  dan terdapat 3 orbital.

Jika  $l = 2$  (subkulit  $d$ ), maka harga  $m = -2, -1, 0, 1, 2$  dan terdapat 5 orbital.

Jika  $l = 3$  (subkulit  $f$ ), maka harga  $m = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ , dan terdapat 7 orbital.

**Tabel 1.1 Ringkasan Bilangan Kuantum**

Bilangan Kuantum Utama, $n$ (Kulit)	Bilangan Kuantum Azimuth, $l$ (Subkulit)	Nama Subkulit	Bilangan Kuantum Magnetik, $m$ (Orbital)	Jumlah Orbital dalam Subkulit
1	0	1s	0	1
2	0	2s	0	1
	1	2p	-1, 0, +1	3
3	0	3s	0	1
	1	3p	-1, 0, +1	3
	2	3d	-2, -1, 0, +1, +2	5
4	0	4s	0	1
	1	4p	-1, 0, +1	3
	2	4d	-2, -1, 0, +1, +2	
	3	4f	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	7

Sumber: Kimia Universitas Azas dan Struktur

### Contoh Soal 1.1

Dapatkan sebuah elektron memiliki bilangan kuantum  $n = 2$ ,  $l = 2$ , dan  $m = 2$ ?

#### Penyelesaian:

Tidak dapat. Harga bilangan kuantum  $l$  ditentukan oleh harga bilangan kuantum  $n$  dan harganya tidak dapat lebih besar dari  $(n - 1)$ . Jadi, jika harga  $n = 2$ , maka  $l$  hanya bisa memiliki harga 0 atau 1, dan harga bilangan kuantum  $m$  tidak dapat lebih besar dari harga  $l$ .

#### d. Bilangan Kuantum Spin ( $s$ )

Selain ketiga bilangan kuantum yang telah kalian pelajari, masih ada satu bilangan kuantum, yaitu bilangan kuantum spin ( $s$ ). Bilangan kuantum spin ( $s$ ) tidak saling berhubungan dengan ketiga bilangan kuantum sebelumnya. Bilangan kuantum ini muncul akibat sifat elektron yang berputar mengelilingi sumbunya. Jadi, bilangan kuantum spin hanya menunjukkan arah perputaran elektron. Pada saat elektron bergerak mengitari inti atom, elektron juga berputar pada sumbunya sendiri (berotasi). Hal ini dapat kalian bayangkan seperti bumi yang berotasi pada saat mengelilingi matahari. Ada 2 kemungkinan arah rotasi elektron, yaitu searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Oleh karena itu, bilangan kuantum spin hanya mempunyai dua harga yang membedakan arah rotasinya, yaitu  $s = \frac{1}{2}$  dan  $s = -\frac{1}{2}$ .

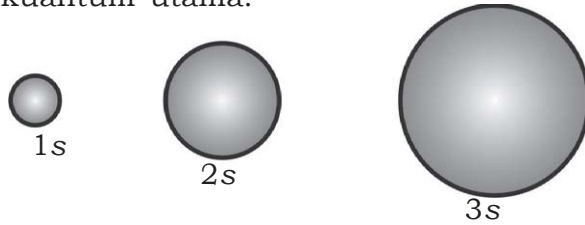
## 2. Bentuk Orbital Atom

Setelah kalian belajar tentang bilangan kuantum, sekarang kalian akan dikenalkan dengan bentuk-bentuk dari orbital atom. Setiap orbital memiliki bentuk yang berbeda yang ditentukan oleh bilangan kuantum azimuth ( $l$ ). Orbital dengan bilangan kuantum azimuth yang sama memiliki bentuk yang sama. Meskipun demikian, ukuran maupun arah orientasinya bisa berbeda tergantung dari harga bilangan kuantum utama dan magnetik.

#### a. Orbital $s$

Orbital  $s$  adalah orbital yang paling sederhana dan terdapat di semua kulit atom, sesuai dengan harga  $l = 0$ . Orbital  $s$  memiliki kerapatan elektron yang sama pada setiap jarak tertentu dari inti. Jadi, orbital  $s$  digambarkan berbentuk bola yang mengandung

sekitar 90% kerapatan elektron total dalam suatu orbital. Ukuran orbital s semakin besar dengan bertambahnya harga bilangan kuantum utama.

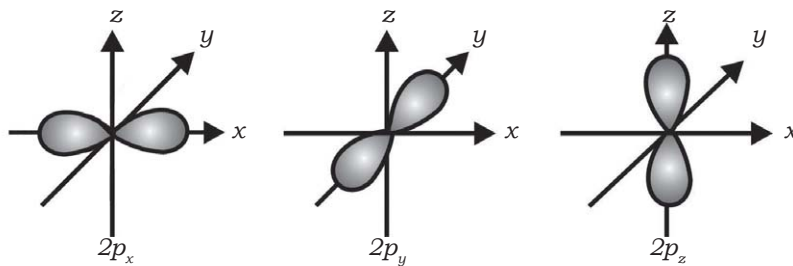


Sumber: Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti

Gambar 1.4 Ukuran orbital s ditentukan dari harga  $n$

### b. Orbital p

Orbital  $p$  mulai terdapat di kulit kedua ( $n = 2$ ), sesuai harga  $l = 1$ . Ada tiga jenis orbital  $p$  yang berbeda orientasinya sesuai dengan tiga harga  $m$ , yaitu  $p_x$ ,  $p_y$ , dan  $p_z$ . Kerapatan elektron tiap orbital  $p$  terpusat pada dua daerah yang terletak pada dua sisi inti yang berlawanan. Orbital  $p$  dapat digambarkan seperti balon terpilin. Ukuran orbital  $p$  bertambah besar dengan bertambahnya harga  $n$ .

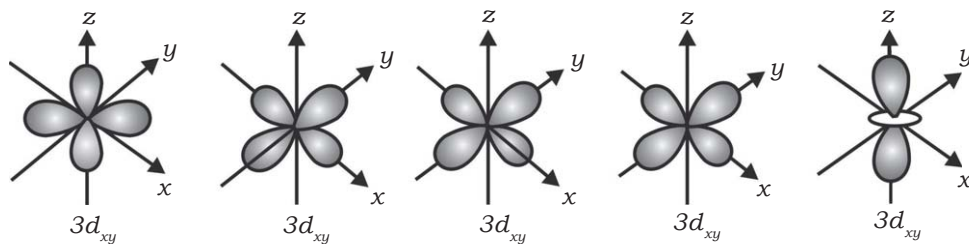


Sumber: Kimia Dasar, Prinsip dan Terapan Modern

Gambar 1.5 Tiga jenis orbital  $2p$

### c. Orbital d

Orbital  $d$  mulai terdapat di kulit ketiga ( $n = 3$ ), sesuai harga  $l = 2$ . Ada lima jenis orbital  $d$  yang berbeda orientasinya sesuai dengan lima harga  $m$ , yaitu  $d_{xy}$ ,  $d_{yz}$ ,  $d_{xz}$ ,  $d_{x^2-y^2}$ , dan  $d_{z^2}$ .



Sumber: Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti

Gambar 1.6 Lima jenis orbital  $3d$

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** dan **personal** kalian, kerjakanlah Latihan 1.1 berikut.

### Latihan 1.1

1. Bagaimanakah gerakan elektron yang beredar mengelilingi inti atom menurut teori atom Bohr dan Louis de Broglie? Jelaskan!
2. Atas dasar apakah kedudukan elektron dalam atom mempunyai tingkat energi tertentu? Jelaskan!
3. Elektron terletak pada subkulit  $3d$ , berapa besarnya keempat bilangan kuantum yang dimilikinya?
4. Jelaskan mengapa pada kulit M ( $n = 3$ ) jumlah maksimum hanya ditempati oleh 18 elektron?

## B. Konfigurasi Elektron

Dalam setiap atom telah tersedia orbital-orbital tapi bagaimanakah pengisian elektron dalam orbital tersebut? Kali ini, kalian akan belajar tentang konfigurasi elektron yang menggambarkan penataan elektron dalam orbital atom. Melalui konfigurasi elektron, kalian akan mengetahui dengan jelas bagaimana elektron-elektron menempatkan diri di dalam orbital atom. Elektron menempati orbital sesuai dengan tingkat energi yang dimiliki. Konfigurasi elektron biasa digambarkan dengan diagram orbital yang berbentuk kotak. Satu kotak untuk subkulit  $s$ , tiga kotak untuk subkulit  $p$ , dan lima kotak untuk subkulit  $d$  sesuai dengan jumlah orbital pada masing-masing subkulit tersebut.



### 1. Pedoman Penulisan Konfigurasi Elektron

Untuk menuliskan konfigurasi elektron dari suatu unsur, ada 3 aturan dasar yang harus kalian penuhi, yaitu:

#### a. Prinsip Aufbau

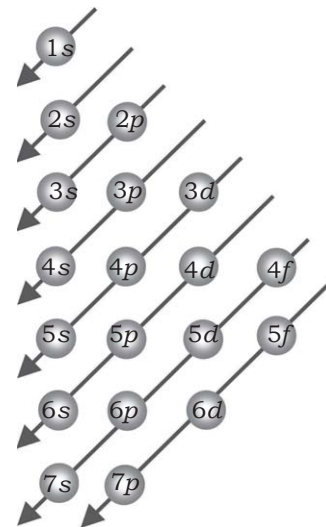
Aufbau berasal dari bahasa Jerman yang artinya membangun. Menurut prinsip Aufbau, pengisian elektron dalam orbital dimulai dari subkulit dengan tingkat energi terendah ke tingkat energi yang lebih tinggi.



Jadi, pengisian elektron dimulai dari orbital  $1s$ , dilanjutkan dengan  $2s$ ,  $2p$ ,  $3s$ ,  $3p$ ,  $4s$ ,  $3d$ , dan seterusnya. Meskipun bilangan kuantum  $4s$  lebih besar daripada  $3d$ , tetapi tingkat energi orbital  $4s$  lebih rendah daripada orbital  $3d$  sehingga orbital  $4s$  terisi elektron terlebih dahulu sebelum  $3d$ .

**Contoh:**

Unsur kalium dengan nomor atom 19, konfigurasi elektronnya adalah  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ . Setelah orbital  $3p$  terisi penuh, maka elektron berikutnya akan menempati orbital  $4s$  dan bukan  $3d$ .



Sumber: Kimia Dasar, Prinsip dan Terapan Modern

**Gambar 1.7** Urutan pengisian orbital berdasarkan asas Aufbau

**b. Prinsip Larangan Pauli**

Wolfgang Pauli menyatakan bahwa tidak ada dua elektron dalam satu atom yang boleh memiliki keempat bilangan kuantum yang sama. Bila dua elektron dalam orbital memiliki nilai  $n$ ,  $l$ , dan  $m$  yang sama, maka nilai  $s$  harus berbeda. Artinya bahwa arah rotasi dua elektron tersebut harus berlawanan. Elektron-elektron dengan spin berlawanan disebut elektron berpasangan dan dinyatakan dalam diagram orbital berikut ini.



Prinsip larangan Pauli menunjukkan bahwa tiap orbital hanya boleh ditempati oleh dua elektron. Jadi, jumlah maksimum elektron pada tiap subkulit adalah dua kali jumlah orbitalnya.

Subkulit  $s$  terdiri dari 1 orbital, maksimum ditempati 2 elektron. Subkulit  $p$  terdiri dari 3 orbital, maksimum ditempati 6 elektron. Subkulit  $d$  terdiri dari 5 orbital, maksimum ditempati 10 elektron. Subkulit  $f$  terdiri dari 7 orbital, maksimum ditempati 14 elektron.

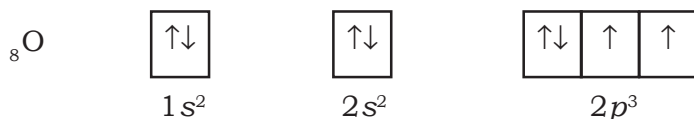
Jumlah maksimum elektron yang ada dalam setiap kulit adalah  $2n^2$ . Misalnya, dalam kulit K ( $n = 1$ ) maksimum terdapat 2 elektron. Kulit L ( $n = 2$ ) maksimum terdapat 8 elektron. Kulit M ( $n = 3$ ) maksimum terdapat 18 elektron.

### c. Aturan Hund

Menurut Hund, susunan elektron dalam subkulit yang paling stabil adalah susunan dengan jumlah spin paralel (arah sama) terbanyak. Hal ini berarti elektron harus menempati orbital sendiri-sendiri sebelum berpasangan.

#### Contoh:

Konfigurasi elektron untuk unsur oksigen dengan nomor atom 8



**Tabel 1.2 Konfigurasi Elektron Menurut Prinsip Aufbau, Prinsip Larangan Pauli, dan Aturan Hund**

Unsur	Kulit	1	2	3	Konfigurasi Elektron
	Subkulit	s	s p	s	
${}_1\text{H}$		$\boxed{\uparrow}$			$1s^1$
${}_2\text{He}$		$\boxed{\uparrow\downarrow}$			$1s^2$
${}_3\text{Li}$		$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow}$		$1s^2 2s^1$
${}_4\text{Be}$		$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$		$1s^2 2s^2$
${}_5\text{B}$		$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow} \quad \boxed{\phantom{\uparrow}} \quad \boxed{\phantom{\uparrow}}$	$1s^2 2s^2 2p^1$
${}_6\text{C}$		$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow} \quad \boxed{\uparrow} \quad \boxed{\phantom{\uparrow}}$	$1s^2 2s^2 2p^2$
${}_7\text{N}$		$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow} \quad \boxed{\uparrow} \quad \boxed{\uparrow}$	$1s^2 2s^2 2p^3$
${}_8\text{O}$		$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow} \quad \boxed{\uparrow} \quad \boxed{\uparrow}$	$1s^2 2s^2 2p^4$
${}_9\text{F}$		$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow} \quad \boxed{\uparrow} \quad \boxed{\uparrow}$	$1s^2 2s^2 2p^5$

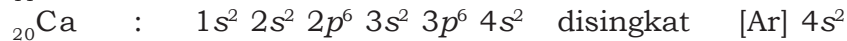
$_{10}\text{Ne}$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$		$1s^2 2s^2 2p^6$
$_{11}\text{Na}$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
$_{12}\text{Mg}$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$ $\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

Sumber: Kimia Untuk Universitas

Untuk lebih menyingkat penulisan konfigurasi elektron digunakan unsur gas mulia terdekat (dituliskan dalam tanda kurung) sebelum unsur yang dimaksud.

**Contoh:**

Konfigurasi elektron dari unsur Na ( $Z = 11$ ) dan Ca ( $Z = 20$ )



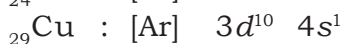
Ne ( $Z = 10$ ) dan Ar ( $Z = 18$ ) adalah gas mulia terdekat sebelum unsur Na dan Ca.

## 2. Penyimpangan Penulisan Konfigurasi Elektron

Ada beberapa unsur yang konfigurasi elektronnya berdasarkan percobaan tidak sesuai dengan prinsip Aufbau. Contohnya adalah unsur kromium ( $Z = 24$ ) dan tembaga ( $Z = 29$ ). Menurut prinsip Aufbau, konfigurasi elektronnya sebagai berikut.



Sedangkan dari hasil percobaan diketahui konfigurasi elektronnya adalah:



Penyimpangan yang terjadi ini disebabkan karena subkulit  $d$  yang terisi setengah penuh ( $3d^5$ ) atau penuh ( $3d^{10}$ ) lebih stabil. Oleh karena itu, satu elektron pada orbital  $4s$  akan mengisi orbital  $3d$  untuk membentuk konfigurasi elektron penuh atau setengah penuh.

## 3. Hubungan Konfigurasi Elektron dengan Tabel Periodik

Kalian tentu sudah mengenal dengan baik tabel periodik unsur. Di kelas X, kalian telah belajar mengenai sifat-sifat unsur dalam tabel periodik. Unsur-unsur disusun dalam tabel periodik

berdasarkan kemiripan sifat-sifatnya. Pada pembahasan berikut, kalian akan mempelajari hubungan antara tabel periodik unsur dengan konfigurasi elektron suatu unsur untuk menentukan letak unsur tersebut dalam tabel periodik. Untuk lebih jelasnya, kita ambil contoh unsur golongan IA dan IIA.

**Tabel 1.3 Konfigurasi Elektron Unsur-unsur Golongan IA dan IIA**

Unsur Golongan IA		Unsur Golongan IIA	
${}^3\text{Li}$	$[\text{He}] 2s^1$	${}^4\text{Be}$	$[\text{He}] 2s^2$
${}^{11}\text{Na}$	$[\text{Ne}] 3s^1$	${}^{12}\text{Mg}$	$[\text{Ne}] 3s^2$
${}^{19}\text{K}$	$[\text{Ar}] 4s^1$	${}^{20}\text{Ca}$	$[\text{Ar}] 4s^2$
${}^{37}\text{Rb}$	$[\text{Kr}] 5s^1$	${}^{38}\text{Sr}$	$[\text{Kr}] 5s^2$
${}^{55}\text{Cs}$	$[\text{Xe}] 6s^1$	${}^{56}\text{Ba}$	$[\text{Xe}] 6s^2$
${}^{87}\text{Fr}$	$[\text{Rn}] 7s^1$	${}^{88}\text{Ra}$	$[\text{Rn}] 7s^2$

Sumber: Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti

Semua unsur pada golongan IA memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^1$  sedangkan semua unsur golongan IIA memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^2$ . Nilai  $n$  adalah nomor periode unsur tersebut dalam tabel periodik. Elektron terluar dari golongan IA dan IIA terletak pada subkulit  $s$ , maka golongan IA dan IIA disebut juga unsur blok  $s$ .

Berdasarkan tabel periodik unsur, dapat kalian lihat bahwa:

Unsur golongan IIIA memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^2np^1$ .

Unsur golongan IVA memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^2np^2$ .

Unsur golongan VA memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^2np^3$ .

Unsur golongan VIA memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^2np^4$ .

Unsur golongan VIIA memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^2np^5$ .

Unsur golongan VIIIA memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^2np^6$ .

Nilai  $n$  menunjukkan nomor periode unsur tersebut dalam tabel periodik. Jadi, semua unsur golongan IIIA sampai dengan golongan VIIIA menempati subkulit  $p$ . Oleh karena itu, unsur-unsur golongan IIIA - VIIIA disebut juga unsur blok  $p$ .

Unsur-unsur golongan IB sampai dengan golongan VIIIB memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^2(n-1)d^x$ . Oleh karena itu, unsur-unsur golongan IB - VIIIB disebut juga unsur **blok d**. Unsur-unsur golongan IB - VIIIB kita sebut juga unsur transisi (atau logam transisi). Semua unsur deret Lantanida dan Aktinida memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns^2(n-1)d^x(n-2)f^y$  dan disebut juga unsur **blok f**.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan personal** kalian, kerjakanlah Tugas 1.1 berikut.

### Tugas 1.1

Diskusikan dengan teman sebangku kalian tentang:

1. Prinsip Aufbau
2. Prinsip larangan Pauli
3. Aturan Hund

Apa perbedaannya? Bagaimana penerapan ketiga prinsip tersebut ke dalam konfigurasi elektron? Buatlah kesimpulan dari diskusi kalian!

#### 4. Menentukan Letak Unsur dalam Tabel Periodik

Letak unsur dalam tabel periodik bisa kita tentukan dari konfigurasi elektron terluar unsur tersebut. Periode ditentukan dari kulit terluar yang ditempati elektron. Jika suatu unsur memiliki konfigurasi elektron terluar  $ns$ ,  $np$ ,  $ns^2 (n-1)d^x$ ,  $ns^2 (n-1)d^x (n-2)f^y$ , maka unsur tersebut terletak pada periode  $n$ .

Letak golongan ditentukan dari jumlah elektron terluar unsur tersebut. Elektron yang berada pada kulit terluar disebut sebagai elektron valensi.

Elektron valensi: - Golongan A  $\rightarrow$  jumlah elektron pada kulit terluar.  
- Golongan B  $\rightarrow$  jumlah elektron pada  $(n-1)d^x$  ditambah elektron  $ns^2$

Jika konfigurasi elektron terakhir  $s^x$ , maka unsur tersebut terletak pada golongan  $x$ A. Jika konfigurasi elektron terakhir  $ns^2 (n-1)p^x$ , maka unsur tersebut terletak pada golongan  $(x+2)$ A. Jika konfigurasi elektron terluar  $ns^2 (n-1)d^x$ , maka unsur tersebut terletak pada golongan  $(x+2)$ B. Khusus untuk golongan B, jika  $(x+2)$  berjumlah 11 dan 12, maka unsur tersebut terletak pada golongan IB dan IIB, sedangkan jika  $(x+2)$  berjumlah 8, 9, dan 10 maka unsur terletak pada golongan VIII B. Jika konfigurasi elektron terakhir  $f^x$ , maka unsur tersebut terletak pada deret Lantanida dan Aktinida.

Jadi, jika elektron terluar menempati subkulit  $s$  dan  $p$ , maka unsur tersebut terletak pada golongan A. Jika elektron terluar menempati subkulit  $d$ , maka unsur tersebut terletak pada golongan B. Jika elektron terluar menempati subkulit  $f$ , maka unsur tersebut terletak pada golongan Lantanida dan Aktinida.

### Contoh Soal 1.2

Tentukan letak unsur Ga dengan nomor atom 31 dan unsur Fe dengan nomor atom 26!

#### Penyelesaian:

Untuk menentukan letak kedua unsur tersebut dalam sistem periodik, kalian tulis dulu konfigurasi elektronnya.

- Konfigurasi elektron dari unsur  ${}_{31}\text{Ga}:[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^1$   
Dari konfigurasi elektron diketahui  $n = 4$  dan elektron valensi menempati subkulit  $s$  dan  $p$  dengan jumlah  $(2 + 1) = 3$ . Jadi, unsur Ga dengan nomor atom 31 terletak pada periode 4, golongan IIIA.
- Konfigurasi elektron dari unsur  ${}_{26}\text{Fe}:[\text{Ar}]4s^2 3d^6$   
Dari konfigurasi elektron diketahui  $n = 4$  dan elektron valensi menempati subkulit  $s$  dan  $d$  dengan jumlah  $(6 + 2) = 8$ . Jadi, unsur Fe dengan nomor atom 26 terletak pada periode 4, golongan VIIIB.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian, kerjakanlah Latihan 1.2 berikut.

### Latihan 1.2

- Tuliskan konfigurasi elektron dari atom-atom berikut!
  - ${}_{9}\text{F}$
  - ${}_{21}\text{Sc}$
  - ${}_{46}\text{Pd}$
  - ${}_{38}\text{Sr}$
- Mana yang lebih besar tingkat energinya?
  - $4s$  atau  $3p$
  - $4d$  atau  $5s$
  - $4f$  atau  $5d$
  - $4d$  atau  $5p$
- Gambar distribusi elektron yang menyusun kulit M dari unsur berikut!
  - ${}_{18}\text{Ar}$
  - ${}_{35}\text{Br}$
  - ${}_{28}\text{Ni}$
  - ${}_{29}\text{Cu}$
- Tunjukkan letak golongan dan periode unsur X di bawah ini!
  - $X = [\text{Ar}] 4s^2 3d^5$
  - $X = [\text{Ne}] 3s^2 3p^6$
  - $X = [\text{Ar}] 4s^1 3d^{10}$
  - $X = [\text{Ar}] 4s^2 3d^7$
- Bagaimana pengisian elektron pada masing-masing orbital dari atom berikut? Hitunglah jumlah elektron yang tidak berpasangan!
  - ${}_{23}\text{V}$
  - ${}_{34}\text{Se}$
  - ${}_{24}\text{Cr}$
  - ${}_{31}\text{Ga}$

## C. Bentuk Molekul

Di kelas X, kalian telah belajar tentang bagaimana atom-atom saling terikat dalam molekul, yaitu melalui ikatan ion atau ikatan kovalen. Kalian tentu dapat menyebutkan molekul-molekul apa saja di sekitar kalian yang dikukuhkan oleh kedua jenis ikatan tersebut. Misalnya saja, atom-atom dalam molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), oksigen ( $\text{O}_2$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) terikat secara kovalen. Atom-atom dalam garam dapur ( $\text{NaCl}$ ) terikat secara ionik. Tahukah kalian bagaimana bentuk molekul-molekul tersebut? Apa yang membedakan bentuk molekul satu dengan yang lainnya? Apa pengaruh bentuk molekul terhadap sifat-sifat fisika dan kimia suatu molekul? Nah, pada subbab ini kalian akan belajar tentang berbagai bentuk dari molekul sehingga kalian dapat mengenal lebih jauh molekul-molekul di sekitar kalian.

Bentuk molekul menggambarkan cara atom-atom tersusun dalam ruang tiga dimensi molekul. Atom-atom dalam molekul disusun dengan panjang ikatan dan sudut ikatan tertentu. Panjang ikatan dan sudut ikatan harus ditentukan dari percobaan. Tetapi ada cara yang lebih sederhana agar kalian dapat menentukan bentuk suatu molekul, yaitu dari jumlah pasangan elektron di sekitar atom pusat. Elektron yang terlibat dalam pembentukan ikatan adalah elektron yang berada di kulit valensi atom (kulit terluar yang ditempati elektron). Pasangan elektron tersebut cenderung saling bertolakan satu sama lain dalam membentuk molekulnya, sehingga teori ini dikenal sebagai teori tolakan pasangan elektron kulit valensi (VSEPR).

### 1. Teori Tolakan Pasangan Elektron Kulit Valensi (*Valence Shell Elektron Pair Repulsion, VSEPR*)

Teori VSEPR (diucapkan “vesper”) dikenalkan pertama kali oleh **N.V. Sidgwick** dan **H.M. Powell** (1940). Teori ini kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh **R.J. Gillespie** dan **R.S. Nyholm**. Dalam teori VSEPR, bentuk molekul ditentukan dari jumlah pasangan elektron di sekitar atom pusat. **Atom pusat** adalah atom yang terikat pada dua atau lebih atom lain. Sebagai contoh dalam molekul  $\text{H}_2\text{O}$ , yang menjadi atom pusatnya adalah atom O, sedangkan H disebut atom sekitar. Pasangan elektron yang berada di sekitar atom pusat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pasangan elektron ikatan dan pasangan elektron bebas. **Pasangan elektron ikatan** adalah pasangan elektron yang digunakan untuk

berikatan, sedangkan **pasangan elektron bebas** adalah pasangan elektron yang tidak digunakan untuk berikatan. Semua pasangan elektron ikatan dianggap seperti ikatan tunggal walaupun sebenarnya ikatan tersebut rangkap dua atau tiga.

Menurut teori ini, pasangan elektron di sekitar atom pusat akan menempatkan diri sejauh mungkin agar tolakan antarpasangan elektron menjadi minimum. Misalnya, jika di sekitar atom pusat hanya ada dua pasang elektron, maka kedua pasang elektron tersebut cenderung menempatkan diri pada ujung yang berlawanan dari atom pusat sehingga tolakannya minimum. Susunan pasangan elektron ini menghasilkan bentuk molekul linier dengan sudut ikatan sebesar  $180^\circ$ . Pasangan elektron bebas dalam molekul memiliki gaya tolak yang lebih besar daripada pasangan elektron ikatan. Akibatnya, pasangan elektron bebas menempati ruang yang lebih besar. Gaya tolak yang lebih besar dari pasangan elektron bebas menyebabkan sudut ikatan mengecil. Berdasarkan ada tidaknya pasangan elektron bebas dalam molekul, maka secara umum molekul dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu:

**a. Molekul yang Atom Pusatnya Tidak Memiliki Pasangan Elektron Bebas**

Molekul yang termasuk dalam golongan ini memiliki rumus umum  $AB_x$ . Molekul ini tidak memiliki pasangan elektron bebas karena semua elektron kulit valensi atom pusat digunakan untuk berikatan. Atom pusat dinyatakan dengan A, B adalah atom sekitar, dan  $x$  menyatakan jumlah dari B. Harga  $x$  biasanya antara 2 sampai 6. Jadi, molekul yang atom pusatnya tidak memiliki pasangan elektron bebas dapat berupa molekul  $AB_2$ ,  $AB_3$ ,  $AB_4$ ,  $AB_5$ , dan  $AB_6$ .


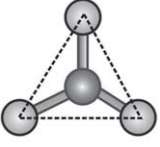
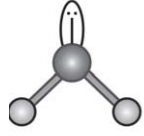
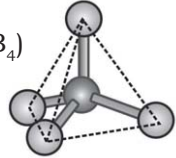
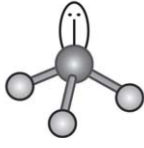
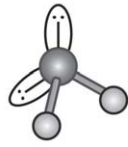
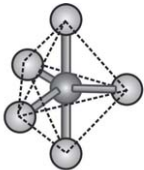
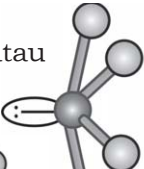
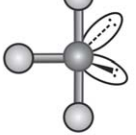
**b. Molekul yang Atom Pusatnya Memiliki Pasangan Elektron Bebas**

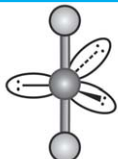
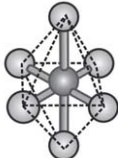
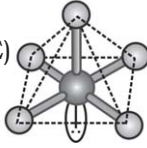
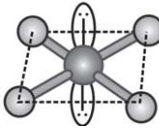
Molekul dalam golongan ini memiliki rumus umum  $AB_xE_y$ . Atom pusat dinyatakan dengan A, B adalah atom sekitar, E adalah pasangan elektron bebas pada atom pusat. Jumlah B dinyatakan dalam  $x$  dan jumlah pasangan elektron bebas dinyatakan dalam  $y$ . Harga  $x = 2, 3, \dots$  dan  $y = 1, 2, \dots$ . Jadi, molekul paling sederhana yang atom pusatnya memiliki pasangan elektron bebas berupa molekul  $AB_2E$ .

Meskipun terdapat pembagian kelompok molekul, bentuk molekul hanya ditentukan oleh susunan pasangan elektron ikatan. Berbagai kemungkinan bentuk molekul dari kedua golongan molekul tersebut disimpulkan dalam Tabel 1.4.



**Tabel 1.4 Kemungkinan Bentuk Molekul dalam Teori VSEPR**

Jumlah Pasangan Elektron			Bentuk Molekul (Tipe Molekul)	Contoh
Total	Ikatan	Bebas		
2	2	0	Linier ( $AB_2$ ) 	$BeF_2$ , $CO_2$
	2	0	Segitiga datar ( $AB_3$ ) 	$BF_3$
3	2	1	Bengkok atau V ( $AB_2E$ ) 	$SO_2$
4	4	0	Tetrahedral ( $AB_4$ ) 	$CH_4$
	3	1	Segitiga piramida ( $AB_3E$ ) 	$NH_3$
	2	2	Bengkok atau V ( $AB_2E_2$ ) 	$H_2O$
5	5	0	Segitiga bipiramida ( $AB_5$ ) 	$PCl_5$
	4	1	Tetrahedral terdistorsi atau jungkat-jungkit ( $AB_4E$ ) 	$SF_4$
	3	2	Bentuk T ( $AB_3E_2$ ) 	$ClF_3$

	2	3	Linier ( $AB_2E_3$ )		$XeF_2$
6	6	0	Oktahedral ( $AB_6$ )		$SF_6$
	5	1	Segiempat piramida ( $AB_5E$ )		$IF_5$
	4	2	Segiempat datar ( $AB_4E_2$ )		$XeF_4$

Sumber: General Chemistry

## 2. Cara Meramalkan Bentuk Molekul

Dalam teori VSEPR, bentuk molekul diramalkan dari susunan pasangan elektron di sekitar atom pusat berdasarkan tolakan pasangan-pasangan elektron tersebut. Jadi, untuk dapat meramalkan bentuk suatu molekul, kalian harus mengetahui terlebih dahulu jumlah pasangan elektron di sekitar atom pusat. Jumlah pasangan elektron dapat ditentukan lebih mudah dengan menggambarkan struktur Lewis dari molekul tersebut. Langkah-langkah yang dapat kalian ikuti untuk meramalkan bentuk molekul:

- Gambar rumus titik elektron dari molekul.
- Hitung jumlah pasangan elektron ikatan dan pasangan elektron bebas di sekitar atom pusat.
- Tentukan bentuk molekulnya dengan mengacu pada Tabel 1.4.

### Contoh:

- Bentuk molekul  $CO_2$

Langkah 1. Rumus titik elektron dari  $CO_2$



Langkah 2. Di sekitar atom pusat terdapat 4 pasang elektron ikatan dan tidak memiliki pasangan elektron bebas. Ikatan rangkap dua CO diperlakukan seperti ikatan tunggal sehingga

kalian dapat menganggap hanya ada 2 pasang elektron ikatan.  
*Langkah 3.* Sesuai Tabel 1.4 molekul  $\text{CO}_2$  memiliki tipe  $\text{AB}_2$  sehingga molekul  $\text{CO}_2$  diramalkan memiliki bentuk linier.



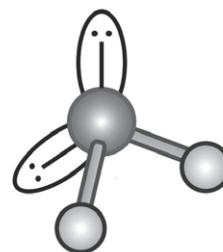
- b. Bentuk molekul  $\text{H}_2\text{O}$

*Langkah 1.* Rumus titik elektron  $\text{H}_2\text{O}$



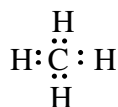
*Langkah 2.* Di sekitar atom pusat terdapat 2 pasang elektron ikatan dan 2 pasang elektron bebas.

*Langkah 3.* Sesuai Tabel 1.4, molekul  $\text{H}_2\text{O}$  memiliki tipe  $\text{AB}_2\text{E}_2$  sehingga molekul  $\text{H}_2\text{O}$  diramalkan memiliki bentuk V atau bengkok.



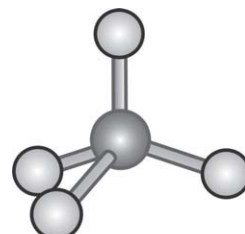
- c. Bentuk molekul  $\text{CH}_4$

*Langkah 1.* Rumus titik elektron dari  $\text{CH}_4$



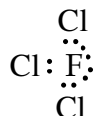
*Langkah 2.* Di sekitar atom pusat terdapat 4 pasang elektron ikatan dan tidak terdapat pasangan elektron ikatan.

*Langkah 3.* Sesuai Tabel 1.4, molekul  $\text{CH}_4$  memiliki tipe  $\text{AB}_4$  sehingga molekul  $\text{CH}_4$  diramalkan memiliki bentuk tetrahedral.



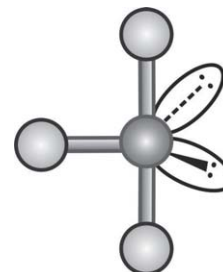
- d. Bentuk molekul  $\text{ClF}_3$

*Langkah 1.* Rumus titik elektron  $\text{ClF}_3$



*Langkah 2.* Di sekitar atom pusat terdapat 3 pasang elektron ikatan dan 2 pasang elektron bebas.

*Langkah 3.* Sesuai Tabel 1.4, molekul  $\text{ClF}_3$  memiliki tipe  $\text{AB}_3\text{E}_2$  sehingga molekul  $\text{ClF}_3$  diramalkan memiliki bentuk T.



### 3. Hibridisasi

Pada subbab sebelumnya, kalian telah belajar meramalkan bentuk molekul menurut teori VSEPR. Bentuk molekul ditentukan dari susunan pasangan elektron di sekitar atom pusat. Misalnya, untuk molekul  $\text{CH}_4$  yang atom pusatnya dikelilingi oleh empat pasang elektron ikatan, maka bentuk molekulnya adalah tetrahedral. Mengapa atom-atom dalam molekul  $\text{CH}_4$  disusun dalam bentuk seperti itu? Bagaimana atom-atom dapat saling membagi elektronnya? Untuk dapat menjawab pertanyaan tersebut, kalian akan dikenalkan dengan teori pembentukan molekul yang lain, yaitu hibridisasi.

Teori hibridisasi didasarkan pada mekanika kuantum dan merupakan perkembangan dari teori VSEPR. Dalam teori ini, bentuk molekul ditentukan dari penggabungan orbital-orbital atomnya. Untuk lebih jelasnya, kalian ambil contoh molekul  $\text{CH}_4$ .

Molekul  $\text{CH}_4$ :

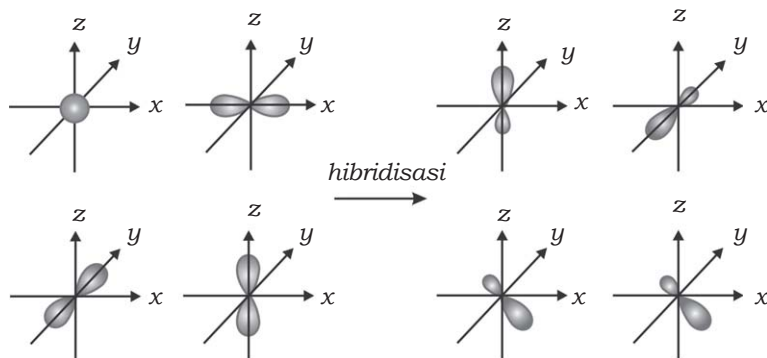
Konfigurasi elektron atom C:  $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^0$  (keadaan dasar)

Konfigurasi elektron atom C:  $1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$  (keadaan tereksitasi)

Konfigurasi elektron atom H:  $1s^1$

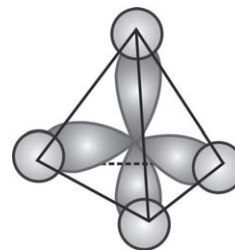
Dari konfigurasi elektron atom C pada keadaan dasar, atom C hanya dapat mengikat 2 atom H dan dihasilkan molekul  $\text{CH}_2$  yang tidak stabil. Agar atom C dapat mengikat 4 atom H untuk membentuk  $\text{CH}_4$  yang stabil, maka 1 elektron dari orbital  $2s$  atom C akan dipromosikan (dieksitasi) ke orbital  $2p_z$ , sehingga konfigurasi elektron atom C pada keadaan tereksitasi menjadi:  $1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ .

Orbital  $2s$  memiliki bentuk yang berbeda dengan ketiga orbital  $2p$ , akan tetapi dari hasil percobaan ditemukan bahwa keempat ikatan C-H dalam  $\text{CH}_4$  adalah sama (identik). Ternyata jika orbital  $2s$  dan  $2p$  bergabung dengan cara yang tepat dihasilkan orbital baru yang sama. Peristiwa ini disebut hibridisasi. Jadi, **hibridisasi** adalah proses penggabungan orbital-orbital atom yang tingkat energinya berbeda untuk membentuk orbital-orbital yang setara. Orbital yang terbentuk dari penggabungan ini disebut **orbital hibrid**. Orbital hibrid yang terbentuk dihasilkan dari penggabungan 1 orbital  $2s$  dan 3 orbital  $2p$  disebut orbital hibrid  $sp^3$ . Jumlah orbital hibrid yang terbentuk sama dengan jumlah orbital atom yang terlibat.



**Gambar 1.8** Pembentukan orbital hibrid  $sp^3$

Jadi, pada pembentukan  $CH_4$  dihasilkan 4 orbital hibrid  $sp^3$  yang setara. Dengan demikian, molekul  $CH_4$  dibentuk dari tumpang-tindih keempat orbital hibrid  $sp^3$  atom C dengan orbital  $1s$  dari atom H. Sesuai dari percobaan dan teori VSEPR,  $CH_4$  membentuk molekul tetrahedral dimana atom karbon terletak di tengah tetrahedral dan atom-atom hidrogen terletak di keempat sudutnya.



**Sumber:** Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti

**Gambar 1.9** Pembentukan ikatan dalam molekul  $CH_4$

Orbital hibrid dapat dibentuk dari penggabungan berbagai orbital atom. Jumlah orbital hibrid yang terbentuk selalu sama dengan jumlah orbital atom yang terlibat. Misalnya, jika kalian menggabungkan 1 orbital  $s$  dengan 2 orbital  $p$  untuk menghasilkan orbital baru yang setara, maka kalian akan mendapatkan 3 orbital hibrid yang disebut orbital hibrid  $sp^2$ .

**Tabel 1.5** Berbagai Jenis Orbital Hibrid

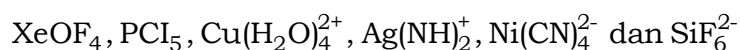
Jenis Orbital Hibrid	Jumlah Orbital Hibrid	Bentuk Orbital Hibrid	Contoh
$sp$	2	Linier	$BeF_2$
$sp^2$	3	Segitiga datar	$BF_3$
$sp^3$	4	Tetrahedral	$CH_4$
$sp^3d$	5	Segitiga bipiramida	$PCl_5$
$sp^3d^2$	6	Oktahedral	$SF_6$

**Sumber:** General Chemistry

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan sosial** kalian, kerjakanlah Tugas 1.2 berikut.

### Tugas 1.2

Diskusikan dengan teman sebangku kalian, tentang bentuk-bentuk molekul berikut.



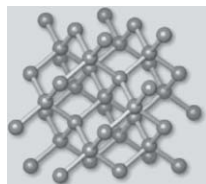
Ramalkan bentuk-bentuk molekul tersebut, kemudian kumpulkan kepada guru!

### Fokus Kimia

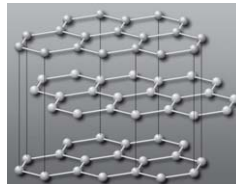
*Merangsang keingintahuan*

Kalian tentu sudah mengenal unsur karbon, bukan? Karbon adalah salah satu unsur nonlogam yang terletak di golongan IV dalam tabel periodik unsur. Tahukah kalian bahwa di alam, karbon berada dalam dua bentuk yang sangat berbeda? Bentuk yang berbeda dari unsur yang sama ini disebut alotrop. Dua bentuk alotrop dari karbon adalah intan dan grafit.

Intan dan grafit memiliki sifat yang sangat berbeda. Perbedaan sifat intan dan grafit disebabkan oleh perbedaan bentuk molekulnya. Bentuk molekul intan tetrahedral, sedangkan grafit berbentuk cincin segienam (heksagonal). Di dalam intan, setiap atom karbon diikat oleh empat atom karbon lainnya membentuk struktur tetrahedral dalam jaringan tiga dimensi. Di dalam grafit, setiap atom karbon diikat oleh tiga atom karbon lainnya membentuk cincin segienam dan tersusun berlapis-lapis dalam jaringan dua dimensi. Coba sebutkan perbedaan intan dan grafit yang lain berkaitan dengan titik didih dan kegunaannya!



Bentuk molekul intan



Bentuk molekul grafit

## D. Gaya Antarmolekul

Coba kalian perhatikan zat-zat yang ada di sekitar kalian! Zat-zat tersebut dikelompokkan menjadi tiga wujud, yaitu padat, cair maupun gas. Zat yang berwujud gas, misalnya oksigen ( $\text{O}_2$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ), klor ( $\text{Cl}_2$ ) atau karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ ), dan cuka ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) berwujud cair. Air juga dapat berwujud

padat jika berubah menjadi es atau berwujud gas jika berubah menjadi uap air di udara. Kalian tentu dapat menyebutkan contoh-contoh yang lain. Molekul-molekul dalam zat tersebut saling ditarik oleh suatu gaya yang disebut gaya antarmolekul. Meskipun demikian, gaya tarik antarmolekulnya memiliki kekuatan yang berbeda-beda karena gaya tarik yang terjadi juga berbeda. Gaya tarik yang paling lemah terjadi antarmolekul gas. Perbedaan gaya tarik antarmolekul inilah yang menyebabkan perbedaan sifat fisika zat-zat tersebut, terutama titik didihnya. Apakah yang membedakan jenis gaya tarik antarmolekul? Bagaimana pengaruhnya terhadap sifat fisika zat? Pada subbab ini, kalian akan belajar tentang jenis gaya tarik antarmolekul, yaitu gaya Van der Waals dan ikatan hidrogen.

### 1. Gaya Van der Waals

Gaya Van der Waals dikenalkan oleh seorang ahli fisika bangsa Belanda, yaitu **J.D. Van der Waals**. Beliau menemukan adanya gaya tarik yang sangat lemah antarmolekul gas, misalnya antarmolekul gas  $\text{Cl}_2$  dan  $\text{Br}_2$  terjadi gaya tarik yang lemah. Jika terjadi penurunan suhu pada gas, gaya tarik antarmolekulnya semakin kuat dan pada suhu yang cukup rendah molekul-molekul gas akan mengelompok membentuk tetes-tetes cairan (mengembun). Gaya Van der Waals dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu gaya disperse dan gaya dipol-dipol.

#### a. Gaya Disperse (Gaya London)

Gaya disperse terjadi akibat adanya tarik-menarik antara molekul-molekul nonpolar. Gaya disperse dikemukakan oleh **Fritz London** (1930), ahli fisika dari Jerman sehingga gaya tarik yang terjadi kemudian dikenal sebagai gaya London. Menurut London, elektron-elektron di dalam molekul selalu bergerak dengan jarak yang tertentu dari inti. Gerakan ini memungkinkan elektron pada suatu saat lebih banyak berada di salah satu sisi dibandingkan sisi yang lain sehingga molekul memiliki momen dipol. Momen dipol ini disebut dipol sesaat karena hanya berlangsung sepersekian detik. Saat berikutnya, elektron berada di tempat yang berbeda dan menyebabkan dipol sesaat yang lain. Dipol sesaat yang terjadi dapat menginduksi dipol sesaat dari molekul tetangganya. Akibatnya terjadi gaya tarik antara molekul-molekul nonpolar tersebut. Contoh pembentukan dipol sesaat pada molekul neon (Ne).

Kekuatan gaya tarik London sebanding dengan polarisabilitas molekul. Polarizabilitas menunjukkan kemudahan terganggunya distribusi elektron dalam molekul. Pada umumnya, makin besar

massa molar ( $M_r$ ) molekul yang berarti jumlah elektron makin banyak, polarisabilitas makin tinggi (distribusi elektron semakin mudah terganggu) sehingga gaya London makin kuat. Gaya London yang semakin kuat mengakibatkan titik didih molekul semakin tinggi. Sebagai contoh, bisa kalian bandingkan gaya tarik antarmolekul  $\text{CH}_4$  ( $M_r = 16$  g/mol) dan molekul  $\text{C}_3\text{H}_8$  ( $M_r = 44$ ). Molekul  $\text{C}_3\text{H}_8$  memiliki massa molar yang lebih besar dari  $\text{CH}_4$ . Akibatnya gaya London dalam molekul ini lebih kuat sehingga titik didih molekulnya juga lebih tinggi. Titik didih  $\text{C}_3\text{H}_8$  adalah  $-42^\circ\text{C}$ , sedangkan titik didih  $\text{CH}_4$  adalah  $-161^\circ\text{C}$ .

### **b. Gaya Dipol-dipol**

Gaya dipol-dipol terjadi akibat tarik-menarik antara molekul-molekul polar. Molekul polar adalah molekul yang memiliki momen dipol permanen dengan kedua ujung berbeda muatan. Adanya beda muatan ini menimbulkan gaya tarik elektrostatik sehingga terjadi tarik-menarik antarmolekul dalam cairan atau padatan. Gaya tarik antarmolekul polar inilah yang disebut gaya dipol-dipol. Misalnya antarmolekul  $\text{HCl}$  terjadi gaya dipol-dipol akibat adanya beda muatan antara H dan Cl. Semakin besar momen dipol, gaya tarik semakin kuat. Gaya tarik dipol-dipol lebih kuat daripada gaya tarik antarmolekul nonpolar, sehingga titik didih cenderung lebih tinggi. Misalnya, jika kalian membandingkan molekul  $\text{SiH}_4$  dengan molekul  $\text{PH}_3$ . Molekul  $\text{PH}_3$  adalah molekul polar, sedangkan molekul  $\text{SiH}_4$  adalah molekul nonpolar. Gaya tarik dipol-dipol antarmolekul  $\text{PH}_3$  mengakibatkan titik didihnya lebih tinggi dibandingkan  $\text{SiH}_4$ . Titik didih  $\text{PH}_3$  adalah  $-88^\circ\text{C}$ , sedangkan titik didih  $\text{SiH}_4$  adalah  $-112^\circ\text{C}$ .

## **2. Ikatan Hidrogen**

Berdasarkan kajian mengenai titik didih senyawa hidrida dari unsur golongan VA, VIA, dan VIIA, hasilnya tidak sesuai dengan teori yang diharapkan. Pada umumnya, titik didih sederet senyawa dalam satu golongan meningkat dengan bertambahnya massa molar molekul tersebut. Seperti halnya pada golongan IVA, titik didih meningkat dari  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{GeH}_4$ , dan  $\text{SnH}_4$  sesuai dengan meningkatnya massa molar. Tetapi dari hasil percobaan diketahui bahwa molekul dengan massa molar paling kecil dalam golongan itu justru memiliki titik didih paling tinggi, yaitu untuk molekul  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Titik didih yang tinggi itu menunjukkan bahwa antarmolekul  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$  terjadi gaya tarik-menarik yang sangat kuat. Gaya tarik apakah yang terjadi antara ketiga molekul tersebut?



Ternyata titik didih yang tinggi dari ketiga molekul tersebut diakibatkan oleh adanya ikatan hidrogen. **Ikatan hidrogen** adalah ikatan yang terjadi antarmolekul polar yang mengandung atom hidrogen dengan atom berelektonegativitas tinggi yang punya pasangan elektron bebas. Unsur N, F, dan O sangat elektronegatif sehingga atom H dalam senyawa  $\text{NH}_3$ , HF, dan  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi sangat positif. Akibatnya gaya tarik antarmolekulnya menjadi sangat kuat. Oleh karena itulah, ketiga senyawa ini memiliki titik didih yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan senyawa dalam deret yang sama.

Untuk lebih mengembangkan **kecapakan personal** kalian, kerjakanlah Latihan 1.3 berikut.

### Latihan 1.3

- Menurut kalian, mana yang mempunyai titik didih lebih tinggi? Beri penjelasan alasannya!
  - $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  atau  $\text{C}_2\text{H}_6$
  - $\text{Cl}_2$  atau  $\text{I}_2$
  - $\text{NH}_3$  atau  $\text{PH}_3$
  - $\text{PH}_3$  atau  $\text{AsH}_3$
- Mana yang lebih kuat? Beri alasannya!
  - Gaya London atau gaya-gaya dipol-dipol
  - Gaya Van der Waals atau ikatan Hidrogen
  - Gaya dipol-dipol atau ikatan Hidrogen

### Rangkuman

- Teori atom mekanika kuantum dikemukakan oleh Erwin Schrodinger.
- Kedudukan elektron dalam orbital atom ditunjukkan oleh 4 bilangan kuantum, yaitu bilangan kuantum utama ( $n$ ), bilangan kuantum azimuth ( $l$ ), bilangan kuantum magnetik ( $m$ ), dan bilangan kuantum spin  $s$ .
- Bilangan kuantum utama ( $n$ ) menunjukkan kulit atom dan menentukan tingkat energi elektron, harganya 1, 2, 3, dan seterusnya.
- Bilangan kuantum azimuth ( $l$ ) menunjukkan subkulit, harganya tergantung dari  $n$ , yaitu dari 0 sampai  $(n - 1)$ .
- Bilangan kuantum magnetik ( $m$ ) menunjukkan jumlah orbital yang terdapat dalam subkulit, harganya tergantung dari  $l$ , yaitu dari  $-l$  sampai  $+l$ .

6. Bilangan kuantum spin menunjukkan arah rotasi elektron, mempunyai harga  $+\frac{1}{2}$  dan  $-\frac{1}{2}$ .
7. Menurut prinsip Aufbau, pengisian elektron dalam orbital dari subkulit dengan tingkat energi terendah ke tingkat energi yang lebih tinggi.
8. Prinsip larangan Pauli menyatakan bahwa tidak ada dua elektron dalam satu atom yang boleh memiliki keempat bilangan kuantum yang sama.
9. Bentuk molekul ditentukan oleh susunan pasangan elektron ikatan.
10. Teori VSEPR pertama kali dikemukakan oleh N.V. Sidgwick dan H.M. Powell.
11. Hibridisasi merupakan proses penggabungan orbital-orbital atom dengan tingkat energi berbeda untuk membentuk orbital-orbital yang setara tingkat energinya.
12. Gaya Van der Waals dibedakan menjadi gaya dispersi (gaya London) dan gaya dipol-dipol.
13. Ikatan hidrogen terjadi antarmolekul polar yang mengandung hidrogen dengan atom berkeelektronegativitas tinggi yang punya pasangan elektron bebas, seperti N, F, dan O.

## Evaluasi

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Perhatikan tabel berikut.

Senyawa	$M_r$	Titik Didih ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\text{NH}_3$	17	-33
$\text{PH}_3$	34	-88
$\text{AsH}_3$	78	-55
$\text{SbH}_3$	125	-17

Molekul  $\text{PH}_3$  memiliki titik didih terendah, penyebabnya adalah . . . .

- A.  $M_r$  terkecil
- B. molekulnya kecil

- C. terdapatnya ikatan hidrogen  
 D. terdapatnya ikatan gaya London  
 E. terdapatnya ikatan gaya Van der Waals
2. Konfigurasi elektron dari unsur X yang terletak pada golongan VA . . . .
- A.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3$   
 B.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$   
 C.  $1s^2 2s^2 2p^6 3p^6 3s^2$   
 D.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$   
 E.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3 3d^2$
3. Atom P, Q, R, S, dan T dengan nomor atom berturut-turut 3, 12, 19, 33 dan 53, yang terletak pada satu golongan dalam tabel periodik unsur adalah . . . .
- A. P dan Q  
 B. Q dan S  
 C. P dan R  
 D. S dan T  
 E. R dan T
4. Bilangan kuantum dari elektron terakhir suatu unsur dengan nomor atom 40 adalah . . . .
- A.  $n = 4, l = 2, m = +1, s = -\frac{1}{2}$   
 B.  $n = 4, l = 2, m = -1, s = +\frac{1}{2}$   
 C.  $n = 5, l = 0, m = 0, s = -\frac{1}{2}$   
 D.  $n = 5, l = 2, m = 1, s = +\frac{1}{2}$   
 E.  $n = 4, l = 2, m = 0, s = -\frac{1}{2}$
5. Diberikan pasangan senyawa berikut.
1.  $NH_3$  dengan HF
  2.  $H_2O$  dengan HCl
  3. HF dengan  $H_2O$
  4.  $NH_3$  dengan HBr
  5.  $NH_3$  dengan  $H_2S$

Pasangan senyawa yang mempunyai ikatan hidrogen adalah

- . . . .
- A. 2 dan 3  
 B. 4 dan 5  
 C. 1 dan 5  
 D. 1 dan 3  
 E. 3 dan 4

6. Bilangan-bilangan kuantum yang mungkin dimiliki oleh suatu elektron adalah . . . .
- $n = 2, l = 2, m = 0, s = +\frac{1}{2}$
  - $n = 3, l = 0, m = +1, s = +\frac{1}{2}$
  - $n = 4, l = 2, m = -3, s = +\frac{1}{2}$
  - $n = 3, l = 3, m = 0, s = -\frac{1}{2}$
  - $n = 2, l = 0, m = 0, s = -\frac{1}{2}$
7. Suatu atom netral mempunyai 2 elektron dalam kulit pertama, 8 elektron dalam kulit kedua dan 7 elektron dalam kulit ketiga. Jumlah total elektron dalam orbital s adalah . . . .
- 6
  - 2
  - 17
  - 8
  - 7
8. Konfigurasi elektron yang benar untuk atom Q dengan nomor atom 33 adalah . . . .
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^1$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 3d^1$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 3d^3$
9. Konfigurasi elektron atom X dengan nomor atom 29 adalah  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$   
Atom X dalam tabel periodik unsur terletak pada ...
- golongan IA periode 3
  - golongan IB periode 4
  - golongan VIIA periode 4
  - golongan VIIB periode 4
  - golongan IB periode 7
10. Di antara molekul-molekul berikut yang mengalami gaya disperse adalah. . . .
- $\text{CH}_3\text{OH}$
  - $\text{CH}_4$
  - $\text{NaCl}$
  - $\text{NH}_3$
  - $\text{CH}_3\text{OCH}_3$

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!**

1. Jelaskan perbedaan antara model atom Bohr dan model atom mekanika kuantum!
2. Kromium merupakan unsur logam transisi berwarna putih keperakan dan tahan terhadap korosi sehingga banyak digunakan sebagai pelapis logam lain. Sebutkan keempat bilangan kuantum untuk semua elektron  $3d$  dalam unsur tersebut!
3. Ramalkan bentuk molekul dari setiap molekul berikut!
  - a.  $\text{HgCl}_2$
  - b.  $\text{AlCl}_3$
  - c.  $\text{PF}_3$
4. Sebutkan jenis gaya antarmolekul yang terdapat pada pasangan molekul berikut!
  - a.  $\text{HBr}$  dan  $\text{H}_2\text{S}$
  - b.  $\text{Cl}_2$  dan  $\text{CBr}_4$
  - c.  $\text{NH}_3$  dan  $\text{C}_6\text{H}_6$
5. Manakah diantara molekul-molekul berikut yang mampu berikatan hidrogen antarmolekul itu sendiri?
  - a.  $\text{C}_2\text{H}_6$
  - b.  $\text{HI}$
  - c.  $\text{BeH}_2$
  - d.  $\text{CH}_3\text{COOH}$





Sumber: Dok Penerbit

**Gambar 2.1** Reaksi pembakaran kayu melepaskan energi yang cukup besar ke lingkungan

Jika kalian berada di dekat kayu yang sedang dibakar, misalnya saat kalian sedang berkemah, badan kalian yang tadinya terasa dingin lama-kelamaan menjadi hangat, bukan? Udara di sekitar kalian juga terasa panas. Mengapa bisa terjadi demikian? Apa yang menyebabkan terjadinya perubahan suhu pada lingkungan? Ternyata, pada reaksi pembakaran kayu ada energi yang dilepaskan oleh kayu yang terbakar ke badan kalian dan juga ke lingkungan sekitar. Perpindahan energi ini disebabkan oleh adanya perbedaan suhu antara kayu yang sedang terbakar dengan lingkungan sekitar sehingga energi akan mengalir ke lingkungan yang suhunya lebih rendah. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya kenaikan suhu lingkungan sekitar.

Hampir semua reaksi kimia yang terjadi di sekitar kalian disertai dengan perubahan energi, baik pelepasan maupun penyerapan energi. Semua jenis reaksi pembakaran melepaskan energi ke lingkungan. Sebaliknya, dalam pertumbuhan tanaman memerlukan energi dari cahaya matahari untuk melangsungkan fotosintesis.

Perubahan energi apakah yang sebenarnya menyertai reaksi kimia tersebut? Bagaimanakah cara menentukan perubahan energinya? Jawaban dari pertanyaan itu akan kalian temukan pada bab ini. Kalian akan dikenalkan dengan salah satu cabang ilmu kimia, yaitu termokimia.

## A. Entalpi dan Perubahan Entalpi

### 1. Sistem dan Lingkungan

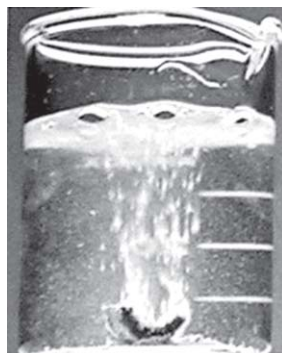
Kayu yang terbakar dan lingkungan sekitarnya memiliki suhu yang berbeda. Perbedaan suhu ini mengakibatkan terjadinya perpindahan energi, yaitu dari benda dengan suhu lebih tinggi ke benda dengan suhu yang lebih rendah. Perpindahan energi akan terus berlangsung sampai tercapai suhu yang sama di antara dua benda tersebut. Energi yang dipindahkan karena adanya perbedaan suhu inilah yang disebut sebagai **kalor**. Dalam bahasa sehari-hari biasa dipakai istilah panas untuk menyebut kalor. Ilmu kimia yang mempelajari perubahan kalor disebut **termokimia**. Termokimia itu sendiri merupakan bagian dari bahasan yang lebih luas, yaitu termodinamika.

Dua hal penting yang berkaitan dengan perpindahan energi dalam reaksi kimia adalah sistem dan lingkungan. **Sistem** merupakan bagian dari alam semesta yang menjadi pusat perhatian kita, sedangkan **lingkungan** adalah bagian dari alam semesta di luar sistem yang berinteraksi dengan sistem. Pada reaksi antara logam kalsium dengan air yang berlangsung dalam gelas kimia, logam kalsium dan air merupakan sistem reaksi. Gelas kimia, suhu udara, dan tekanan udara sekitarnya adalah lingkungannya.

Sistem dapat dibedakan menjadi tiga macam berdasarkan interaksinya dengan lingkungan, yaitu sistem terbuka, sistem tertutup, dan sistem terisolasi.

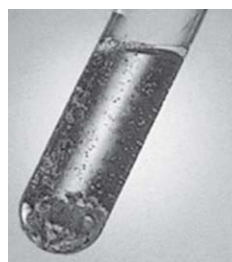
#### a. Sistem Terbuka

Suatu sistem disebut sistem terbuka apabila antara sistem dengan lingkungannya dapat terjadi perpindahan energi (yang berupa kalor) dan materi. Salah satu contoh reaksi yang berlangsung dalam sistem terbuka adalah ketika kalian mereaksikan logam seng (Zn) dan larutan asam



Sumber: *Introductory Chemistry: Concepts & Connections*

**Gambar 2.2** Reaksi logam kalsium dengan air melepaskan gelembung gas  $H_2$



Sumber: *Introductory Chemistry: Concepts & Connections*

**Gambar 2.3** Reaksi logam Zn dan HCl dalam sistem terbuka



klorida (HCl) dalam tabung reaksi terbuka. Kalor yang dihasilkan pada reaksi tersebut dan gas hidrogen yang terbentuk dapat keluar dari sistem ke lingkungan.

### **b. Sistem Tertutup**

Sistem tertutup adalah suatu sistem yang tidak memungkinkan untuk terjadi perpindahan materi tetapi dapat terjadi perpindahan energi antara sistem dan lingkungan. Misalnya, ketika reaksi antara logam Zn dan larutan HCl tersebut kalian lakukan dalam tabung reaksi yang ditutup rapat. Kalor yang dihasilkan dapat berpindah dari sistem ke lingkungan tetapi gas hidrogen yang terbentuk tidak dapat keluar dari sistem.

### **c. Sistem Terisolasi**

Sistem terisolasi adalah sistem yang tidak memungkinkan untuk terjadi perpindahan materi maupun energi antara sistem dengan lingkungannya. Misalnya, jika reaksi antara logam Zn dan larutan HCl kalian lakukan dalam wadah yang dilapis penyekat tahan panas, misalnya dalam termos. Kalor yang dihasilkan dan gas hidrogen yang terbentuk tidak dapat keluar dari sistem.

## **2. Energi Dalam ( $E$ ) dan Entalpi ( $H$ )**

Setiap zat dalam sistem kimia memiliki energi dalam bentuk energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial yang dimiliki oleh suatu zat disebut juga energi kimia. Keseluruhan energi potensial dan energi kinetik dalam sistem kimia disebut sebagai **energi dalam** ( $E$ ). Kalian tentunya sudah mengetahui bahwa semua bentuk energi dapat diubah menjadi bentuk yang lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Pernyataan ini sesuai dengan **hukum pertama termodinamika** (atau yang disebut juga **hukum kekekalan energi**). Jadi, pada sistem yang tertutup seperti halnya alam semesta kita ini, jumlah keseluruhan energi selalu tetap. Jika suatu zat mengalami penurunan energi potensial, maka dapat dipastikan energi kinetik zat itu akan bertambah. Artinya bahwa energi potensial tersebut telah diubah menjadi energi kinetik. Atau dapat juga terjadi proses kebalikannya, energi kinetik yang diubah menjadi energi potensial.

Harga energi dalam ( $E$ ) suatu sistem tidak dapat diukur. Kalian hanya dapat mengukur perubahan energi dalam ( $E$ ). Perubahan energi dalam yang terjadi dalam reaksi kimia dapat berupa kalor ( $Q$ ) atau kerja ( $W$ ). Oleh karena itu, perubahan energi dalam sistem dinyatakan sebagai jumlah kalor dan kerja.

$$\Delta E = Q + W$$

**Keterangan:**

$Q$  = jumlah kalor yang dipindahkan antara sistem dan lingkungan

$W$  = kerja yang dilakukan oleh (atau pada) sistem

Kebanyakan reaksi kimia dilakukan dalam sistem terbuka pada kondisi tekanan konstan (tekanan atmosfer). Pada tekanan konstan, kalor reaksi dinyatakan dalam suatu besaran yang disebut **entalpi** ( $H$ ). Jadi, entalpi merupakan kandungan kalor atau isi kalor dari suatu zat atau sistem. Entalpi dinyatakan sebagai jumlah energi-dalam ( $E$ ) dan hasil kali antara tekanan ( $P$ ) dengan volume ( $V$ ) sistem.

$$H = E + PV$$

**3. Perubahan Entalpi ( $\Delta H$ )**

Entalpi merupakan sifat ekstensif zat yang dapat digunakan untuk menentukan perubahan kalor dalam reaksi kimia. Nilai dari entalpi itu sendiri tidak dapat diukur tetapi kita dapat mengukur perubahan kalor pada saat reaksi berlangsung. Perubahan kalor yang terjadi dalam reaksi kimia disebut perubahan entalpi ( $\Delta H$ ). Pada tekanan konstan, perubahan entalpi sama dengan jumlah kalor reaksi yang dilepaskan atau diserap oleh sistem.

$$\Delta H = Q_p$$

Entalpi tergolong fungsi keadaan. Jadi, perubahan entalpi hanya ditentukan oleh keadaan awal dan keadaan akhir sistem. Jika ditinjau suatu reaksi kimia di mana reaktan bereaksi dan menghasilkan suatu produk.

reaktan  $\rightarrow$  produk

maka besarnya perubahan entalpi, atau disebut juga entalpi reaksi merupakan selisih antara entalpi produk dan entalpi reaktan.

$$\Delta H = H(\text{produk}) - H(\text{reaktan})$$

**4. Reaksi Eksoterm dan Reaksi Endoterm**

Reaksi kimia selalu berlangsung dengan disertai perubahan kalor, baik diserap atau dilepaskan. Berdasarkan perubahan kalor yang terjadi dalam reaksi kimia, kalian dapat membedakan reaksi kimia menjadi dua jenis, yaitu reaksi eksoterm dan reaksi endoterm.

### a. Reaksi Eksoterm

Jika suatu reaksi terjadi dengan melepaskan kalor ke lingkungan, maka reaksinya disebut reaksi eksoterm. Kalor yang dilepaskan oleh sistem akan meningkatkan suhu lingkungan. Pada waktu kayu dibakar, kalor dilepaskan ke lingkungan sehingga badan kalian menjadi hangat. Pelepasan kalor dalam reaksi kimia menyebabkan penurunan entalpi reaksi. Entalpi reaktan lebih tinggi daripada entalpi produk sehingga perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) bernilai negatif.

$$H(\text{reaktan}) > H(\text{produk})$$

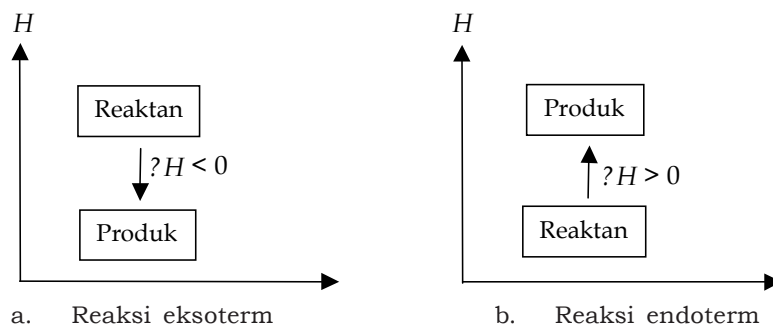
Jadi, pada reaksi eksoterm:  $\Delta H = H(\text{produk}) - H(\text{reaktan}) < 0$

### b. Reaksi Endoterm

Ada pula reaksi kimia yang terjadi dengan menyerap kalor dari lingkungan, yang disebut reaksi endoterm. Penyerapan kalor oleh sistem akan menurunkan suhu lingkungan. Salah satu contoh reaksi endoterm adalah peristiwa fotosintesis, di mana tumbuhan menyerap kalor dari matahari. Kalor yang diserap oleh sistem menaikkan entalpi reaksi. Entalpi produk lebih tinggi daripada entalpi reaktan sehingga perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) bernilai positif.

$$H(\text{produk}) > H(\text{reaktan})$$

Jadi, pada reaksi endoterm:  $\Delta H = H(\text{produk}) - H(\text{reaktan}) > 0$



Sumber: Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti

Gambar 2.4 Diagram entalpi reaksi eksoterm dan endoterm.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan vokasional** dan **merangsang keingintahuan kalian**, lakukanlah Tugas 2.1 berikut.

### Tugas 2.1

Coba teteskan sedikit bensin di atas telapak tangan kalian. Setelah beberapa menit, apa yang terjadi? Apa yang dapat kalian rasakan? Mengapa hal itu bisa terjadi? Termasuk reaksi eksoterm atau endoterm peristiwa tersebut? Apa yang dapat kalian simpulkan?

## 5. Persamaan Termokimia

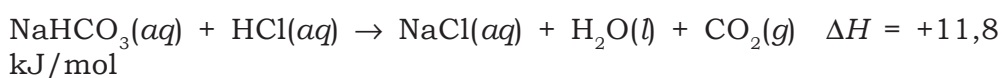
Persamaan termokimia merupakan persamaan reaksi yang menunjukkan perubahan entalpi dalam reaksi kimia. Pada penulisan persamaan termokimia disertakan pula jumlah mol zat yang bereaksi dan wujud fisik zat yang terlibat dalam reaksi. Jumlah mol zat ditunjukkan oleh koefisien reaksi dan wujud zat dinyatakan dalam huruf *s* untuk padat, *l* untuk cair, dan *g* untuk gas.

### Contoh:

- a. Pada pembakaran 1 mol gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dihasilkan 1 mol gas  $\text{CO}_2$  dan 2 mol air disertai pelepasan kalor sebesar 890,4 kJ. Kalor dilepaskan menunjukkan reaksi eksoterm, sehingga  $\Delta H = -890,4 \text{ kJ/mol}$ . Persamaan termokimianya ditulis sebagai berikut.



- b. Pada reaksi antara 1 mol larutan  $\text{NaHCO}_3$  (soda kue) dengan 1 mol larutan  $\text{HCl}$  dihasilkan 1 mol larutan  $\text{NaCl}$ , 1 mol air dan 1 mol gas  $\text{CO}_2$  disertai penyerapan kalor sebesar 11,8 kJ. Kalor diserap menunjukkan reaksinya endoterm sehingga  $\Delta H = +11,8 \text{ kJ}$ . Persamaan termokimianya ditulis sebagai berikut.



## 6. Jenis Perubahan Entalpi

Perubahan entalpi reaksi kimia bergantung pada keadaan fisik zat (padat, cair, atau gas) yang terlibat dalam reaksi, suhu, dan tekanan. Untuk dapat membandingkan harga dari berbagai perubahan entalpi, maka dibuat suatu keadaan standar tertentu. Keadaan standar yang telah disepakati adalah pada suhu 298 K

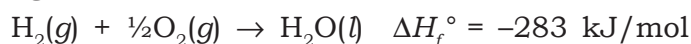
dan tekanan 1 atm. Beberapa jenis perubahan entalpi pada keadaan standar, yaitu:

**a. Perubahan Entalpi Pembentukan Standar ( $\Delta H_f^\circ$ )**

Perubahan entalpi pembentukan standar (*standard enthalpy of formation*) adalah perubahan entalpi yang terjadi pada pembentukan 1 mol zat dari unsur-unsurnya yang paling stabil pada keadaan standar. Harga perubahan entalpi pembentukan standar untuk unsur dalam bentuk yang paling stabil atau unsur bebas yang stabil adalah nol. Misalnya, untuk unsur oksigen yang terdapat dalam dua bentuk, yaitu molekul oksigen ( $O_2$ ) dan ozon ( $O_3$ ). Oksigen lebih stabil dibandingkan ozon sehingga harga  $\Delta H_f^\circ$  untuk oksigen adalah 0 (nol). Atom perak (Ag) yang stabil juga memiliki harga  $\Delta H_f^\circ = 0$ . Entalpi pembentukan standar dinyatakan dalam kilojoule per mol (kJ/mol) sesuai satuan Sistem Internasional.

**Contoh:**

Perubahan entalpi pembentukan standar air,  $H_2O(l)$  dari  $H_2(g)$  dan  $O_2(g)$  adalah sebesar  $-283$  kJ/mol. Persamaan termokimianya ditulis sebagai berikut.



**b. Perubahan Entalpi Peruraian Standar ( $\Delta H_d^\circ$ )**

Perubahan entalpi peruraian standar (*standard enthalpy of decomposition*) adalah perubahan entalpi yang terjadi pada peruraian 1 mol zat menjadi unsur-unsurnya yang paling stabil pada keadaan standar. Reaksi peruraian merupakan kebalikan dari reaksi pembentukan sehingga harga perubahan entalpi peruraian standar sama dengan perubahan entalpi pembentukan standar tapi berlawanan tanda.

**Contoh:**

Pada reaksi pembentukan air,  $H_2O(l)$ , harga  $\Delta H_f^\circ H_2O = -283$  kJ/mol. Jadi, pada peruraian air,  $H_2O(l)$  menjadi  $H_2(g)$  dan  $O_2(g)$  adalah sebesar  $+283$  kJ/mol. Persamaan termokimianya ditulis sebagai berikut.



**c. Perubahan Entalpi Pembakaran Standar ( $\Delta H_c^\circ$ )**

Perubahan entalpi pembakaran standar (*standard enthalpy of combustion*) adalah perubahan entalpi yang terjadi pada pembakaran 1 mol zat dengan oksigen secara sempurna.

**Contoh:**

Pada pembakaran 1 mol benzena,  $C_6H_6(l)$  dihasilkan  $CO_2(g)$  dan  $H_2O(l)$  serta akan dilepaskan kalor sebesar 3271 kJ. Persamaan termokimianya ditulis sebagai berikut.



Untuk lebih mengembangkan **kecakapan personal** kalian, kerjakanlah Latihan 2.1 berikut.

**Latihan 2.1**

1. Diketahui reaksi:  $A \rightarrow B$  merupakan reaksi eksoterm.
  - a. Zat manakah yang mempunyai entalpi lebih besar (pada suhu dan tekanan sama), A atau B?
  - b. Bagaimanakah tanda  $\Delta H$  pada reaksi tersebut, positif atau negatif?
2. Tulislah persamaan termokimia untuk proses-proses berikut.
  - a. Penguraian  $NH_4NO_3$  menjadi unsur-unsurnya jika diketahui  $\Delta H_f^\circ NH_4NO_3 (s) = -365,6 \text{ kJ/mol}$ .
  - b. Penguapan  $H_2O (l)$  jika diketahui kalor penguapan air = 2,45 kJ/mol.

**B. Penentuan Perubahan Entalpi****1. Melalui Percobaan (Kalorimetri)**

Perubahan entalpi dapat ditentukan melalui percobaan dengan mengukur perubahan kalor selama reaksi berlangsung. Alat yang digunakan untuk mengukur kalor yang diserap atau dilepaskan dalam reaksi kimia disebut kalorimeter. Perubahan kalor yang terjadi ditentukan dari perubahan suhu ketika reaksi berlangsung. Dari pengukuran perubahan suhu, kalian dapat menghitung perubahan kalor melalui persamaan:

$$Q = m c \Delta T$$

atau

$$Q = C \Delta T$$

**Keterangan:**

$Q$  = perubahan kalor (Joule)

$m$  = massa zat (gram)

$c$  = kalor jenis zat (J/g K)

$C$  = kapasitas kalor kalorimeter

$\Delta T$  = perubahan suhu (K)

$$= T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}}$$

Untuk reaksi yang melibatkan gas, seperti pada reaksi pembakaran, kalorimeter yang biasa digunakan disebut kalorimeter bom. Pada kalorimeter bom, reaksi berlangsung dalam sebuah bom (wadah yang terbuat dari baja) yang dibenamkan di dalam air dalam bejana kedap panas. Kalorimeter bom dirancang secara khusus sehingga sistem berada dalam keadaan terisolasi. Oleh karena itu, selama reaksi berlangsung dianggap tidak ada kalor yang hilang.

Kalorimeter sederhana dapat dibuat dari dua gelas gabus (*Styrofoam*) atau plastik, yang dilengkapi dengan termometer dan pengaduk. Gabus dan plastik bersifat isolator (tidak menyerap kalor) sehingga selama reaksi berlangsung dianggap tidak ada kalor yang hilang.

### Contoh Soal 2.1

Sebanyak 2 g naftalena ( $C_{10}H_8$ ), zat yang berbau tajam dan biasa digunakan untuk mengusir ngengat, dibakar dalam kalorimeter bom. Dari hasil pengamatan, suhu air dalam kalorimeter naik sebesar  $5^\circ\text{C}$ . Jika kapasitas kalor kalorimeter adalah  $10,17 \text{ kJ}/^\circ\text{C}$ , tentukanlah perubahan entalpi pada reaksi tersebut!

#### Penyelesaian:

*Diketahui:*

Massa naftalena ( $m$ ) = 2 g

Massa molar naftalena ( $M_r$ ) = 128 g/mol

Mol naftalena =  $\frac{2}{8}$  mol

Kapasitas kalor kalorimeter ( $C$ ) =  $10,17 \text{ kJ}/\text{K}$

Perubahan suhu ( $\Delta T$ ) =  $5^\circ\text{C}$

*Jawab:*

Reaksi pembakaran naftalena merupakan reaksi eksoterm yang ditunjukkan dengan adanya kenaikan suhu. Untuk menentukan perubahan entalpi pada pembakaran naftalena, dihitung dulu kalor yang diserap oleh kalorimeter menggunakan rumus  $Q = C \times \Delta T$

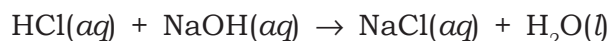
$$\begin{aligned}Q_{\text{sistem}} &= Q_{\text{reaksi}} + Q_{\text{kalorimeter}} = 0 \\Q_{\text{reaksi}} &= -Q_{\text{kalorimeter}} \\Q_{\text{kalorimeter}} &= C \times \Delta T \\&= 10,17 \text{ kJ}/\text{K} \times 5 \text{ K} \\&= 50,85 \text{ kJ} \\Q_{\text{reaksi}} &= -50,85 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Perubahan entalpi dari hasil perhitungan adalah perubahan kalor yang terjadi pada pembakaran 2 g naftalena. Jadi, untuk setiap 1 mol naftalena perubahan entalpinya adalah:

$$\begin{aligned} \text{Perubahan entalpi} &= \frac{1}{2} \times (-50,85) \\ &= \frac{128}{2} \times (-50,85) \\ &= 3254,4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

### Contoh Soal 2.2

Sebanyak 100 cm<sup>3</sup> larutan HCl 0,5 M direaksikan dengan 100 cm<sup>3</sup> larutan NaOH 0,5 M dalam kalorimeter gelas gabus. Suhu awal kedua larutan sama, yaitu 24,5°C. Setelah larutan dicampurkan, suhu naik menjadi 28°C. Jika kalor jenis dan massa jenis larutan dianggap sama dengan air yaitu 4,18 J/g K dan 1 g/cm<sup>3</sup>, tentukan perubahan entalpi reaksi berikut:



#### Penyelesaian:

*Diketahui:*

Massa jenis larutan = 1 g/cm<sup>3</sup>

Massa larutan (*m*) = massa jenis larutan × volume larutan  
 = massa HCl + massa NaOH  
 = (1 g/cm<sup>3</sup> × 100 cm<sup>3</sup>) + (1 g/cm<sup>3</sup> × 100 cm<sup>3</sup>)  
 = 100 g + 100 g = 200 g

Mol HCl = mol NaOH = 0,5 M × 100 cm<sup>3</sup> = 50 mmol = 0,05 mol

Kalor jenis larutan (*c*) = 4,18 J/g K

Perubahan suhu ( $\Delta T$ ) = (301 - 297,5)K = 3,5 K

*Jawab:*

Reaksi antara HCl dan NaOH merupakan reaksi eksoterm karena pada reaksi ini terjadi kenaikan suhu. Perubahan entalpi dalam reaksi tersebut adalah perubahan kalor yang dilepaskan selama reaksi, yang ditentukan dengan mengukur perubahan suhunya dan dihitung menggunakan rumus:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{sistem}} &= Q_{\text{larutan}} + Q_{\text{reaksi}} = 0 \\ Q_{\text{reaksi}} &= -Q_{\text{larutan}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 Q_{\text{larutan}} &= m_{\text{larutan}} \times c_{\text{larutan}} \times \Delta T \\
 &= 200 \text{ g} \times 4,18 \text{ J/g K} \times 3,5 \text{ K} \\
 &= 2926 \text{ J} = 2,926 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{reaksi}} = -Q_{\text{larutan}} = -2,926 \text{ kJ}$$

Perubahan entalpi dari hasil perhitungan adalah perubahan kalor yang terjadi pada reaksi antara 0,05 mol HCl dan 0,05 mol NaOH. Jadi, perubahan entalpi untuk setiap 1 mol HCl yang bereaksi dengan 1 mol NaOH adalah:

$$\text{Perubahan entalpi} = \frac{1}{0,05} \times -2,926 \text{ kJ} = -58,52 \text{ kJ/mol}$$

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan vokasional** dan **menumbuhkan semangat inovasi, kreativitas serta berpikir kritis** kalian, lakukanlah percobaan berikut.

### Percobaan

#### Tujuan:

Menentukan perubahan entalpi reaksi penetralan antara larutan asam klorida (HCl) dengan larutan natrium hidroksida (NaOH).

#### Alat dan Bahan:

1. Gelas *Styrofoam*/gelas plastik
2. Gelas ukur
3. Termometer
4. Larutan HCl 2 M, 20 cm<sup>3</sup>
5. Larutan NaOH 2 M, 20 cm<sup>3</sup>

#### Cara Kerja:

1. Masukkan 20 cm<sup>3</sup> larutan HCl 2 M ke dalam gelas *Styrofoam* (kalorimeter). Ukurlah suhu larutan!
2. Masukkan 20 cm<sup>3</sup> larutan NaOH 2 M ke dalam gelas ukur dan ukurlah suhunya. Jika suhu kedua larutan berbeda, tentukan suhu rata-rata sebagai suhu awal. (Perhatian: termometer harus dalam keadaan bersih sebelum digunakan untuk mengukur suhu larutan).
3. Masukkan larutan NaOH tersebut ke dalam gelas *Styrofoam* yang berisi larutan HCl. Aduk dengan termometer dan amati perubahan suhunya. Tentukan suhu tertinggi larutan sebagai suhu akhir!

**Data Pengamatan:**

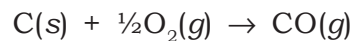
Suhu larutan HCl 2 M = ..... °C  
 Suhu larutan NaOH 2 M = ..... °C  
 Suhu awal = ..... °C  
 Suhu akhir = ..... °C  
 Perubahan suhu ( $\Delta T$ ) = ..... °C

**Pertanyaan:**

Tentukan perubahan entalpi dari reaksi antara larutan HCl dan larutan NaOH! Massa jenis dan kalor jenis larutan dianggap 1 g/cm<sup>3</sup> dan 4,18 J/g K.

**2. Berdasarkan Hukum Hess**

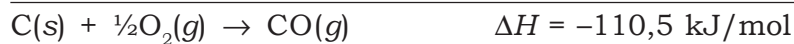
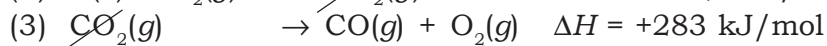
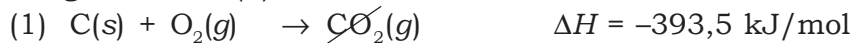
Tidak semua perubahan entalpi dapat ditentukan melalui percobaan. Misalnya, reaksi pembakaran karbon (grafit) menjadi karbon monoksida.



Perubahan entalpi reaksi pembakaran karbon menjadi CO murni sulit dilakukan karena CO mudah terbakar. Jika kita mereaksikan karbon dengan oksigen berlebih, CO akan segera terbakar menjadi CO<sub>2</sub>. Sedangkan pada jumlah oksigen terbatas akan terbentuk campuran CO dan CO<sub>2</sub>. Meskipun demikian, perubahan entalpi pembentukan CO dapat ditentukan dari perubahan entalpi reaksi yang mudah terjadi. Reaksi yang lebih mudah terjadi adalah reaksi pembakaran karbon menjadi karbon dioksida dan pembakaran karbon monoksida menjadi karbon dioksida.



Untuk memperoleh persamaan reaksi pembakaran karbon menjadi karbon monoksida, maka reaksi (2) dibalik kemudian ditambahkan dengan reaksi (1)



Dari penjumlahan dua tahap reaksi tersebut, perubahan entalpi pembakaran karbon menjadi karbon monoksida dapat ditentukan dengan mudah, yaitu dengan menjumlahkan perubahan entalpi kedua tahap reaksi yang terjadi.

Penentuan perubahan entalpi dengan cara ini ditemukan oleh seorang ahli kimia Rusia, **G.H. Hess** (1840). Melalui serangkaian percobaan yang dilakukannya, Hess menyimpulkan bahwa perubahan entalpi hanya bergantung pada keadaan awal dan keadaan akhir reaksi dan tidak bergantung pada jalannya reaksi. Jadi, jika suatu reaksi kimia berlangsung melalui beberapa tahap reaksi, maka perubahan entalpi ditentukan dengan menjumlahkan perubahan entalpi setiap tahap. Pernyataan Hess ini dikenal sebagai **hukum Hess** (atau disebut juga Hukum Penjumlahan Kalor).

Penerapan hukum Hess memudahkan dalam menentukan perubahan entalpi reaksi yang sulit ditentukan secara percobaan. Persamaan termokimia disusun sedemikian rupa sehingga hasil penjumlahannya merupakan reaksi yang akan ditentukan perubahan entalpinya. Seringkali, beberapa persamaan harus dikalikan dengan koefisien yang cocok untuk memperoleh persamaan termokimia yang dibutuhkan.

### 3. Data Perubahan Entalpi Pembentukan Standar

Suatu reaksi kimia terjadi karena adanya perubahan kimia dari reaktan (zat yang bereaksi) menjadi produk (hasil reaksi). Perubahan entalpi suatu reaksi dapat juga ditentukan berdasarkan data perubahan entalpi pembentukan standar ( $\Delta H_f^\circ$ ) reaktan dan produknya, yaitu dari selisih harga  $\Delta H_f^\circ$  reaktan dan  $\Delta H_f^\circ$  produk. Harga  $\Delta H_f^\circ$  dari beberapa zat dapat kalian lihat pada Tabel 2.1. Dengan menggunakan data  $\Delta H_f^\circ$ , perubahan entalpi reaksi dihitung dari rumus berikut.

**Tabel 2.1 Entalpi Pembentukan Standar**

Zat	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
H <sub>2</sub> O (g)	-242
H <sub>2</sub> O (l)	-237
CO (g)	-111
CO <sub>2</sub> (g)	-394
CH <sub>4</sub> (g)	-75
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	+52
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-85
CH <sub>3</sub> OH (l)	-239
H <sub>2</sub> (g)	0
CCl <sub>4</sub> (g)	-100
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (l)	-227
SiO <sub>2</sub> (s)	-911
PbO (s)	-219
NO (g)	+90

Sumber: Tabel Referensi Lengkap

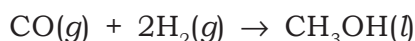
$$\Delta H_{\text{reaksi}} = [\sum n \Delta H_f^\circ (\text{produk})] - [\sum m \Delta H_f^\circ (\text{reaktan})]$$

**Keterangan:** $\Sigma n$  = jumlah koefisien produk $\Sigma m$  = jumlah koefisien reaktan**Contoh Soal 2.3**

Tentukanlah perubahan entalpi pada reaksi antara karbon monoksida (CO) dengan hidrogen (H<sub>2</sub>) untuk menghasilkan metanol (CH<sub>3</sub>OH)!

**Penyelesaian:**

Pertama-tama, kalian tuliskan dulu persamaan reaksi tersebut, yaitu:



Dari data  $\Delta H_f^\circ$ , diketahui:

$$\Delta H_f^\circ \text{CO}(g) = -111 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ 2\text{H}_2(g) = 0$$

$$\Delta H_f^\circ \text{CH}_3\text{OH}(l) = -239,0 \text{ kJ/mol}$$

Perubahan entalpi reaksi dari data  $\Delta H_f^\circ$  dihitung menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{reaksi}} &= [\Sigma n \Delta H_f^\circ(\text{produk})] - [\Sigma m \Delta H_f^\circ(\text{reaktan})] \\ &= [\Delta H_f^\circ \text{CH}_3\text{OH}(l)] - [\Delta H_f^\circ \text{CO}(g) + 2 \Delta H_f^\circ \text{H}_2(g)] \\ &= [(-239,0)] - [(-111) + 2(0)] \\ &= 128 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Jadi, perubahan entalpi reaksi pembentukan metanol adalah 128 kJ

**4. Data Energi Ikatan**

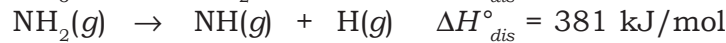
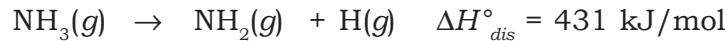
Perubahan entalpi reaksi juga dapat ditentukan dari data energi ikatan. Pada dasarnya reaksi kimia terjadi dalam dua tahap, yaitu tahap pemutusan ikatan antara atom-atom dalam suatu molekul dan tahap pembentukan ikatan-ikatan baru dari atom yang terlibat dalam reaksi kimia. Sebagai contoh, pada reaksi antara H<sub>2</sub>(g) dan Cl<sub>2</sub>(g) akan terjadi pemutusan ikatan dalam molekul H<sub>2</sub> dan Cl<sub>2</sub> untuk menghasilkan dua molekul HCl(g). Tahap pemutusan ikatan dalam molekul menjadi atom-atomnya adalah tahap yang memerlukan energi. Sebaliknya, tahap pembentukan ikatan dari atom-atom menjadi molekul yang baru merupakan tahap yang melepaskan energi.

Energi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan tertentu dalam 1 mol suatu molekul gas menjadi atom atau gugus molekul gas penyusunnya disebut **Energi disosiasi ikatan** ( $\Delta H_{\text{dis}}^\circ$ ). Energi

disosiasi ikatan dinyatakan dalam satuan kJ/mol. Ikatan yang sama bisa memiliki energi disosiasi ikatan berbeda bergantung dari molekulnya.

**Contoh:**

Pada pemutusan ikatan dalam molekul  $\text{NH}_3$ , tahap pemutusan berlangsung sebagai berikut.

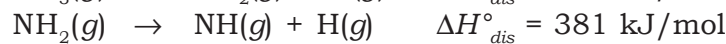
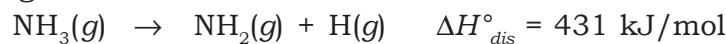


Pada dua tahap pemutusan ikatan N-H tersebut, dapat dilihat perbedaan dari energi disosiasi ikatan meskipun jenis ikatan yang diputus sama. Tahap pertama yang melibatkan pemutusan ikatan N-H pada  $\text{NH}_3$  diperlukan energi sebesar 431 kJ/mol. Tahap kedua yang melibatkan pemutusan ikatan N-H pada  $\text{NH}_2$  diperlukan energi yang lebih kecil, yaitu sebesar 381 kJ/mol. Jadi, untuk jenis ikatan yang sama belum tentu harga energi disosiasi ikatan sama.

Untuk mengatasi harga energi disosiasi yang berbeda-beda pada jenis ikatan yang sama, maka dibuat suatu harga rata-rata yang disebut energi ikatan rata-rata. Jadi, **energi ikatan rata-rata** adalah energi rata-rata yang diperlukan untuk memutuskan satu ikatan dari seluruh ikatan dalam 1 mol molekul menjadi atom-atom penyusunnya.

**Contoh:**

Tahap pemutusan ikatan keseluruhan pada molekul  $\text{NH}_3$  adalah sebagai berikut.



Pemutusan ikatan dalam molekul  $\text{NH}_3$  menjadi atom-atom N dan H berlangsung dalam tiga tahap. Jumlah keseluruhan energi disosiasi ikatan pada pemutusan N-H adalah 1172 kJ/mol. Harga rata-rata dari energi disosiasi ikatan tersebut adalah 391 kJ/mol. Jadi, energi ikatan rata-rata yang diperlukan untuk memutuskan ikatan N-H adalah sebesar 391 kJ/mol.

Harga energi ikatan rata-rata menjadi ukuran kekuatan ikatan antaratom dalam suatu molekul. Semakin besar harga energi ikatan, maka semakin kuat ikatan yang mengikat atom-atom dalam molekul. Akibatnya ikatan antaratom dalam molekul tersebut sulit untuk diputuskan yang berarti molekulnya stabil. Sebaliknya, jika harga energi ikatan kecil, maka ikatan antaratom dalam molekul tersebut lebih mudah putus.

Harga energi ikatan rata-rata juga dapat digunakan untuk menentukan perubahan entalpi suatu reaksi. Oleh karena suatu reaksi kimia selalu melibatkan pemutusan dan pembentukan ikatan, maka perubahan entalpi ditentukan dari selisih jumlah total energi ikatan rata-rata pada tahap pemutusan ikatan dan jumlah energi ikatan rata-rata pada pembentukan ikatan.

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = [\Sigma E_{\text{pemutusan ikatan}}] - [\Sigma E_{\text{pembentukan ikatan}}]$$

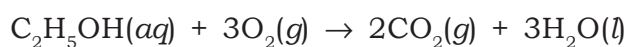
**Tabel 2.2 Energi Ikatan Rata-rata**

Ikatan	Energi Ikatan (kJ/mol)	Ikatan	Energi Ikatan (kJ/mol)
C – C	347	C – Br	276
C = C	612	C – I	218
C ≡ C	820	H – H	436
C – H	414	H – F	565
C – N	293	H – Cl	431
C = N	615	H – Br	368
C ≡ N	890	H – I	297
C – O	351	H – N	389
C = O	715	H – O	464
C – F	485	H – S	339
C – Cl	331	O – O	498

Sumber: Chemistry, Principles & Reaction

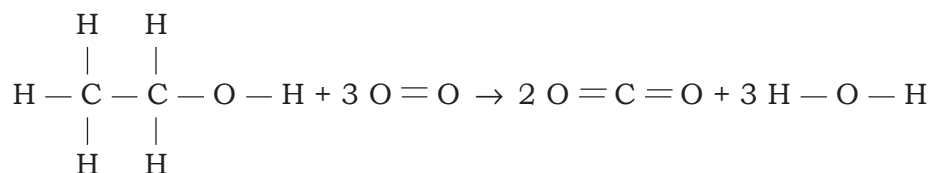
#### Contoh Soal 2.4

Pada reaksi pembakaran etanol dihasilkan gas karbon dioksida dan air. Berdasarkan data energi ikatan, tentukan kalor pembakaran etanol.



#### Penyelesaian:

Perubahan entalpi dari reaksi pembakaran etanol dihitung dengan menentukan jumlah energi ikatan pada tahap pemutusan ikatan dan pembentukan ikatan. Untuk lebih mudahnya, kalian gambar dulu struktur dari reaktan dan produknya. Dari data energi ikatan rata-rata diperoleh data sebagai berikut.



Tahap pemutusan ikatan:

$$5 \text{ ikatan C} - \text{H} : 5 \times 414 \text{ kJ} = 2070 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ ikatan C} - \text{C} : 1 \times 347 \text{ kJ} = 347 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ ikatan C} - \text{O} : 1 \times 351 \text{ kJ} = 351 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ ikatan O} - \text{H} : 1 \times 464 \text{ kJ} = 464 \text{ kJ}$$

$$3 \text{ ikatan O} = \text{O} : 3 \times 498 \text{ kJ} = 1494 \text{ kJ}$$

Tahap pembentukan ikatan:

$$4 \text{ ikatan C} = \text{O} : 4 \times 715 \text{ kJ} = 2860 \text{ kJ}$$

$$6 \text{ ikatan O} = \text{H} : 6 \times 464 \text{ kJ} = 2784 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{reaksi}} &= [\Sigma E_{\text{pemutusan ikatan}}] - [\Sigma E_{\text{pembentukan ikatan}}] \\
 &= (2070 + 347 + 351 + 464 + 1494) - (2860 + 2784) \\
 &= 4726 - 5644 \\
 &= -918 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Jadi, harga kalor pembakaran dari etanol adalah  $-918 \text{ kJ}$ .

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** kalian, kerjakanlah Latihan 2.2 berikut.

### Latihan 2.2

- Sebanyak 13,08 gram serbuk seng ( $A_r \text{ Zn} = 65,4$ ) direaksikan dengan larutan  $\text{CuSO}_4$ . Reaksi ini menimbulkan kenaikan suhu  $9^\circ\text{C}$ . Jika untuk menaikkan suhu larutan  $1^\circ\text{C}$  diperlukan kalor 4 kJ, maka berapa perubahan entalpi molar untuk reaksi:  

$$\text{Zn} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu} + \text{ZnSO}_4$$
- Dengan menggunakan data energi ikatan pada Tabel 2.2, tentukan:
  - $\Delta H$  reaksi gas  $\text{C}_3\text{H}_6$  dengan  $\text{H}_2$  menjadi gas  $\text{C}_3\text{H}_8$
  - $\Delta H$  reaksi pembuatan alkohol dari gas etana dengan uap air!

## C. Energi Bahan Bakar dan Perubahan Entalpi

Salah satu contoh reaksi kimia yang banyak digunakan untuk menghasilkan energi adalah reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran merupakan reaksi suatu senyawa dengan oksigen dan

melepaskan banyak energi. Sumber energi utama dewasa ini dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil yang terbentuk jutaan tahun lalu dari pelapukan tumbuhan atau hewan. Bahan bakar fosil meliputi minyak bumi, gas alam, dan batubara. Sebagian besar bahan bakar fosil terdiri dari senyawa hidrokarbon, yaitu senyawa organik yang mengandung unsur karbon dan hidrogen.

Minyak bumi dalam bentuk alamnya dikenal sebagai minyak mentah. Hasil penyulingan bertingkat dari minyak bumi menghasilkan bensin ( $C_5 - C_8$ ) yang digunakan sebagai bahan bakar motor, minyak tanah atau disebut juga kerosin ( $C_{11} - C_{12}$ ) dan digunakan untuk bahan bakar kompor dan pesawat jet, minyak diesel atau biasa disebut solar ( $C_{13} - C_{25}$ ) dan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Baru-baru ini sedang dikembangkan alternatif bahan bakar lain, yaitu dari minyak biji jarak. Fraksi minyak ini sama dengan minyak diesel dan sudah diujicobakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Gas alam terutama terdiri dari metana ( $\pm 85\%$ ), etana ( $\pm 10\%$ ), propana ( $\pm 3\%$ ), dan butana. Gas alam ini banyak digunakan sebagai bahan bakar kompor gas. Batubara merupakan bahan bakar padat yang terdiri dari hidrokarbon suku tinggi. Dari batubara dapat dihasilkan alternatif bahan bakar lain, yaitu metanol, etanol, dan hidrogen.

Kalor pembakaran dalam bahan bakar biasa dinyatakan dalam satuan kJ/gram. Satuan ini menyatakan jumlah kalor yang dihasilkan dari reaksi pembakaran 1 gram bahan bakar tersebut. Misalnya, harga kalor pembakaran bensin adalah 47,3 kJ/g, berarti pada pembakaran sempurna 1 g bensin akan dihasilkan kalor sebesar 47,3 kJ/g.

**Tabel 2.3 Kalor Pembakaran Beberapa Bahan Bakar**

Bahan Bakar	Harga Kalor Pembakaran (kJ/g)
Hidrogen	141,79
Propana	50,35
Butana	49,51
Bensin	47,30
Solar	44,80
Etanol	29,70
Batubara	27,00
Kayu kering	15,00

Sumber: *id.wikipedia.org*



Penggunaan bahan bakar ini selain membawa banyak manfaat sebagai sumber energi tetapi juga membawa dampak buruk bagi lingkungan dan lebih jauh lagi bagi kesehatan kalian akibat reaksi pembakaran yang tidak sempurna. Pada reaksi pembakaran yang tidak sempurna akan dihasilkan gas karbon monoksida yang dapat menimbulkan polusi. Jika gas ini masuk ke dalam tubuh kalian dapat meracuni tubuh karena CO dapat mengikat zat besi dalam hemoglobin sehingga menghambat pengambilan oksigen.

Untuk lebih mengembangkan **apresiasi potensi kekayaan Indonesia**, kerjakanlah Tugas 2.2 berikut!

## Tugas 2.2

Dewasa ini penggunaan bahan bakar minyak (BBM) mengalami peningkatan yang sangat pesat. Hal ini akan mengancam kekurangan sumber energi di masa yang akan datang karena BBM termasuk sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Bagaimana cara mengatasi hal tersebut? Apa yang harus dilakukan untuk mengatasi kelangkaan BBM? Buatlah sebuah artikel tentang masalah tersebut! Kumpulkan pada guru kalian!

## Rangkuman

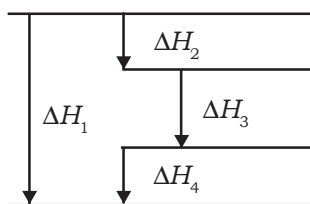
1. Termokimia adalah cabang ilmu kimia yang mempelajari perubahan kalor. Alat pengukur perubahan kalor disebut kalorimeter.
2. Perubahan kalor (perpindahan energi) dalam reaksi kimia terjadi antara sistem dan lingkungan.
  - a. Sistem adalah bagian alam semesta yang menjadi pusat perhatian.
  - b. Lingkungan adalah bagian alam semesta yang berinteraksi dengan sistem.
3. Macam sistem kimia berdasarkan interaksi dengan lingkungan:
  - a. Sistem terbuka, terjadi perpindahan energi dan materi.
  - b. Sistem tertutup, terjadi perpindahan energi tetapi tidak terjadi perpindahan materi.
  - c. Sistem terisolasi, tidak terjadi perpindahan energi dan materi.

- 4 Kalor reaksi pada tekanan konstan dinyatakan sebagai entalpi. Perubahan kalor yang terjadi disebut perubahan entalpi ( $\Delta H$ ).
- 5 Macam reaksi kimia berdasarkan perubahan kalor:
  - a. Reaksi eksoterm, ciri-cirinya:
    - 1) Terjadi pelepasan kalor dari sistem ke lingkungan
    - 2) Terjadi kenaikan suhu lingkungan
    - 3) Perubahan entalpi berharga negatif.
  - b. Reaksi endoterm, ciri-cirinya:
    - 1) Terjadi penyerapan kalor dari lingkungan ke sistem
    - 2) Terjadi penurunan suhu lingkungan
    - 3) Perubahan entalpi berharga positif
- 6 Perubahan entalpi ditentukan dari:
  - a. Percobaan
  - b. Hukum Hess
  - c. Data entalpi pembentukan standar
  - d. Data energi ikatan rata-rata
7. Setiap bahan bakar memiliki harga kalor pembakaran yang berbeda.

## Evaluasi

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Diketahui kurva reaksi sebagai berikut:



Berdasarkan kurva tersebut, harga  $\Delta H_2$  adalah . . . .

- A.  $\Delta H_1 - \Delta H_2 - \Delta H_3$
- B.  $\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_4$
- C.  $\Delta H_1 - \Delta H_3 - \Delta H_4$
- D.  $\Delta H_1 - \Delta H_3 + \Delta H_4$
- E.  $\Delta H_1 + \Delta H_3 + \Delta H_4$





**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!**

1. Jika NaOH 5 gram yang dilarutkan ke dalam 100 mL air sehingga terjadi kenaikan suhu dari 24°C menjadi 78°C berat jenis air = 1 gram/cm<sup>3</sup> dan kalor jenis air = 4,2 J/g°C. ( $A_r$  Na = 23; O = 16; H = 1), hitunglah:
  - a. Perubahan entalpi pelarutan NaOH!
  - b. Buat persamaan reaksi termokimia!
2. Diketahui entalpi pembakaran metanol, CH<sub>3</sub>O (l) = -238,6 kJ/mol; CO<sub>2</sub> (g) = -393,5 kJ/mol; dan H<sub>2</sub>O (l) = -286 kJ/mol.
  - a. Tentukan entalpi pembakaran metanol membentuk gas CO<sub>2</sub> (g) dan air!
  - b. Tentukan jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran 8 gram metanol. ( $A_r$  H = 1; C = 12; O = 16).
3. Diperkirakan pada lapisan stratosfer terjadi reaksi berikut.  
HO (g) + Cl<sub>2</sub>(g) → HOCl (g) + Cl (g)  
Tentukan perubahan entalpi reaksi tersebut jika diketahui:  
Cl<sub>2</sub> (g) → 2Cl (g)  $\Delta H = 242$  kJ  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (g) → 2OH (g)  $\Delta H = 134$  kJ  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (g) + 2Cl<sub>2</sub> (g) → 2HOCl (g)  $\Delta H = -209$  kJ
4. Diketahui:  $\Delta H_f$  C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (g) = 83 kJ/mol  
 $\Delta H_f^\circ$  CO<sub>2</sub> (g) = 394 kJ/mol  
 $\Delta H_f^\circ$  H<sub>2</sub>O (l) = 286 kJ/mol  
Hitung  $\Delta H$  pembakaran 1 mol C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>!
5. Diketahui data sebagai berikut.  
S (s) + <sup>3</sup>/<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (g) → SO<sub>3</sub> (g)  $\Delta H = -395,2$  kJ  
2SO<sub>2</sub> (g) + O<sub>2</sub> (g) → 2SO<sub>3</sub> (g)  $\Delta H = -198,2$  kJ  
Tentukan  $\Delta H$  reaksi berikut!  
S(s) + O<sub>2</sub> (g) → SO<sub>2</sub> (g)  
Kemudian gambarkan diagram siklus dan diagram tingkat energi tersebut!

**Proyek: Menumbuhkan daya saing dan kecakapan vokasional**

Bagilah kelas kalian menjadi beberapa kelompok! Tiap kelompok terdiri dari 3 orang, kemudian lakukanlah kegiatan berikut di rumah.

1. Campurkan gamping dengan air dalam suatu wadah.
  2. Campurkan urea dengan air dalam satu wadah.
- Amatilah apa yang terjadi dari keduanya? Bagaimana reaksinya? Buatlah laporan singkat, kemudian presentasikan di depan kelas!

# Bab III

## Laju Reaksi

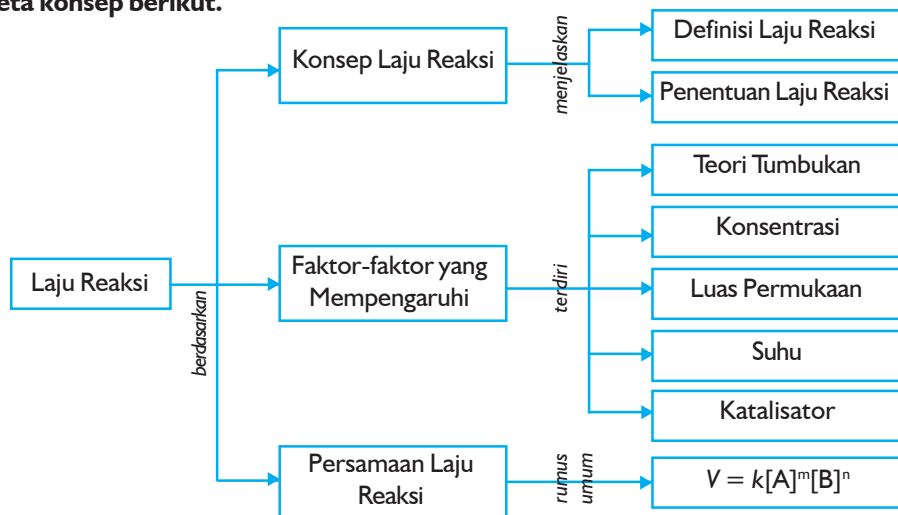
Sumber gambar: *Kimia untuk Universitas*

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mendeskripsikan laju reaksi, orde reaksi dan faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi melalui percobaan dan penerapan dalam kehidupan sehari-hari.

### Peta Konsep

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut, perhatikanlah peta konsep berikut.



### Kata Kunci

Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini. Berikut ini adalah kata kunci dalam bab III.

Energi aktivasi  
Hukum laju reaksi  
Katalisator  
Laju reaksi

Orde reaksi  
Teori tumbukan  
Tetapan laju reaksi



Sumber: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

**Gambar 3.1** Bom meledak menunjukkan laju reaksi yang sangat cepat

Ketika belajar tentang ilmu kimia, kalian tidak hanya harus tahu pada apa yang bereaksi tetapi juga seberapa cepat reaksi itu. Beberapa reaksi berlangsung dengan sangat cepat, misalnya ketika bom meledak atau gas butana terbakar ketika kalian menyalakan korek api gas. Beberapa reaksi yang lain berlangsung sangat lambat, misalnya proses perkaratan logam atau pembusukan makanan. Mengapa reaksi kimia dapat berlangsung dengan laju yang berbeda-beda?

Di kelas IX, kalian telah dikenalkan dengan bahasan mengenai laju reaksi atau kecepatan reaksi termasuk beberapa faktor yang mempengaruhi laju reaksi. Masih ada faktor-faktor lain yang ikut berpengaruh terhadap laju reaksi. Faktor apa sajakah itu? Dan bagaimana faktor itu dapat mempercepat laju suatu reaksi? Pada bab ini, kalian akan belajar lebih jauh lagi mengenai laju reaksi yang akan membantu kalian menemukan jawaban dari pertanyaan tersebut.

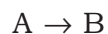
## A. Konsep Laju Reaksi

### 1. Definisi Laju Reaksi

Kalian tentu masih ingat definisi dari laju reaksi, bukan? Laju reaksi menggambarkan seberapa cepat atau lambat suatu reaksi berlangsung. Reaksi kimia dapat berlangsung dengan laju yang berbeda-beda. Bahkan untuk tujuan tertentu, terutama dalam proses industri ada reaksi yang sengaja dipercepat atau diperlambat untuk mendapatkan hasil yang paling menguntungkan. Secara umum, laju didefinisikan sebagai perubahan yang terjadi tiap satu satuan waktu. Satuan waktu tersebut dapat berupa detik, menit, jam, hari atau tahun.

Suatu reaksi kimia melibatkan perubahan dari reaktan (zat pereaksi) menjadi produk (zat hasil reaksi). Jika kalian mereaksikan suatu senyawa tertentu, seiring dengan berjalannya waktu reaksi, jumlah senyawa yang bereaksi semakin sedikit. Sebaliknya, jumlah senyawa yang terbentuk semakin banyak. Dalam reaksi kimia yang biasa digunakan sebagai ukuran jumlah zat adalah konsentrasi molar atau molaritas ( $M$ ). **Molaritas** menyatakan jumlah mol zat terlarut tiap liter larutan. Berdasarkan ukuran konsentrasi zat, laju reaksi ( $v$ ) dapat dinyatakan sebagai perubahan konsentrasi pereaksi atau hasil reaksi tiap satuan waktu. Selama reaksi kimia berlangsung, jumlah reaktan semakin berkurang ketika produk mulai terbentuk. Oleh karena itu, laju reaksi dinyatakan sebagai laju berkurangnya konsentrasi reaktan atau bertambahnya konsentrasi produk tiap satuan waktu. Pada umumnya, waktu berlangsungnya reaksi diukur dalam detik sehingga laju reaksi dinyatakan dalam satuan mol per liter per detik ( $\text{mol/L}\cdot\text{det}$ ) atau molaritas per detik ( $M/\text{det}$ ).

Mari kita tinjau suatu reaksi sederhana dimana molekul-molekul A terurai membentuk molekul-molekul B menurut persamaan reaksi berikut.



Pada reaksi tersebut, dengan bertambahnya waktu reaksi, jumlah molekul A semakin berkurang dan jumlah molekul B semakin bertambah. Laju pengurangan konsentrasi reaktan (molekul A) atau laju penambahan konsentrasi produk (molekul B) dinyatakan sebagai berikut.



$$v = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} \text{ atau } v = +\frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

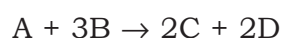
**Keterangan:**

- $v$  = laju reaksi (M/det)
- $\Delta[A]$  = perubahan konsentrasi reaktan (M)
- $\Delta[B]$  = perubahan konsentrasi produk (M)
- $\Delta t$  = perubahan tiap satuan waktu (detik)

Laju reaksi molekul A diberi tanda negatif yang menunjukkan bahwa jumlah molekul A berkurang (konsentrasi A berkurang) dengan bertambahnya waktu. Sebaliknya, laju reaksi molekul B diberi tanda positif yang menunjukkan bahwa jumlah molekul B bertambah (konsentrasi B bertambah) dengan bertambahnya waktu.

Dalam reaksi kimia terdapat hubungan stoikiometri antara reaktan dan produk sehingga baik reaktan maupun produk dapat digunakan untuk menyatakan laju suatu reaksi. Dari persamaan reaksi perubahan A menjadi B dapat kalian lihat bahwa setiap pengurangan satu mol A akan dihasilkan satu mol B. Jadi, pada reaksi peruraian A menjadi B, laju reaksi pengurangan konsentrasi A akan sama dengan laju reaksi penambahan konsentrasi B.

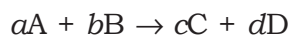
Jika ditinjau reaksi yang lebih kompleks yang melibatkan lebih dari satu reaktan seperti persamaan reaksi berikut.



Dari koefisien reaksi persamaan tersebut, tiga mol B bereaksi dengan 1 mol A yang akan membentuk 2 mol C dan 2 mol D. Hal itu berarti bahwa laju reaksi berkurangnya konsentrasi B adalah tiga kali laju berkurangnya konsentrasi A. Demikian juga, laju bertambahnya konsentrasi C dan D adalah dua kalinya laju berkurangnya konsentrasi A. Jadi, laju reaksi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$v = -\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = -\frac{1}{3} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = +\frac{1}{2} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = +\frac{1}{2} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

Secara umum, untuk reaksi yang memenuhi persamaan reaksi

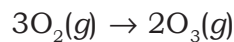


laju reaksinya dapat dinyatakan sebagai 1/koefisien dari laju masing-masing komponen dan dituliskan seperti berikut.

$$v = -\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = +\frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = +\frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

### Contoh Soal 3.1

Nyatakan laju reaksi pembentukan ozon dari  $O_2$  berikut.



#### Penyelesaian:

Laju reaksi dinyatakan sebagai laju berkurangnya konsentrasi  $O_2$  atau laju bertambahnya konsentrasi  $O_3$ . Sesuai perbandingan harga koefisien reaksi maka laju reaksi pembentukan ozon adalah

$$v = -\frac{1}{3} \frac{\Delta[O]_2}{\Delta t} = +\frac{1}{2} \frac{\Delta[O]_3}{\Delta t}$$

## 2. Penentuan Laju Reaksi

Sebagaimana kalian ketahui, reaksi kimia dapat berlangsung dengan laju yang berbeda-beda. Bagaimanakah cara menentukan laju reaksi kimia? Kalian dapat menentukan laju reaksi melalui suatu percobaan, yaitu dengan mengukur banyaknya produk yang dihasilkan atau banyaknya reaktan yang bereaksi pada selang waktu tertentu. Untuk reaksi dalam fase larutan, laju reaksi ditentukan dengan mengukur perubahan konsentrasi reaktan (atau produk) tiap selang waktu tertentu.

Jika reaksi kimia yang sedang berlangsung menghasilkan perubahan warna akibat berkurangnya reaktan atau terbentuknya produk, maka laju reaksi ditentukan dengan mengukur perubahan intensitas warna larutan. Pengukuran dilakukan dengan suatu alat yang disebut **spektrofotometer**. Salah satu contoh adalah reaksi antara larutan brom ( $Br_2$ ) dengan asam format ( $HCOOH$ ) yang berlangsung menurut persamaan reaksi berikut.



Larutan bromin berwarna coklat merah sedangkan spesi yang lainnya tidak berwarna. Ketika larutan brom dan asam format direaksikan dihasilkan larutan yang berwarna coklat merah. Laju reaksinya ditentukan dari perubahan konsentrasi brom pada selang waktu tertentu yang ditandai dengan perubahan intensitas warna larutannya. Pengukuran konsentrasi brom dilakukan menggunakan **spektrofotometer**. Jika perubahan konsentrasi pada selang waktu tertentu sudah diketahui, maka laju reaksinya dapat ditentukan.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan sosial** kalian, kerjakan tugas berikut.

### Tugas

Diskusikan dengan teman sebangku tentang reaksi-reaksi kimia yang mempunyai laju reaksi cepat dan lambat! Berikan minimal 5 contoh reaksi dengan laju cepat dan dengan laju lambat yang dapat kalian temui dalam kehidupan sehari-hari!

## B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Reaksi

Ketika kalian memasak air menggunakan kompor, apa yang kalian lakukan supaya air cepat mendidih? Kalian tentu akan memperbesar nyala apinya, bukan? Dengan memperbesar nyala api berarti kalian telah menaikkan suhu sehingga air akan lebih cepat mendidih. Suhu adalah salah satu faktor yang mempengaruhi laju suatu reaksi kimia. Selain suhu, ada beberapa faktor lain yang juga berpengaruh terhadap laju reaksi, yaitu luas permukaan reaktan, konsentrasi reaktan, dan katalisator. Bagaimana keempat faktor tersebut dapat mempengaruhi laju suatu reaksi kimia?

Untuk lebih mengembangkan **semangat inovasi, kreativitas, berpikir kritis**, dan **kecakapan vokasional** kalian dalam memahami uraian tersebut, lakukanlah percobaan-percobaan berikut.

### Percobaan 3.1

#### Tujuan:

Menyelidiki pengaruh luas permukaan reaktan dan konsentrasi reaktan terhadap laju reaksi.

#### Alat:

Erlenmeyer 50 mL, gelas ukur 10 mL, gelas kimia 1 L, tabung reaksi, timbangan analitis, lumpang porselin, sumbat pipa, stopwatch.

#### Bahan:

Pualam atau batu kapur, larutan HCl 3 M, 1,5 M, dan 0,75 M.

#### Cara Kerja:

##### A. Pengaruh luas permukaan terhadap laju reaksi

1. Masukkan 10 mL larutan HCl 3 M ke dalam erlenmeyer dan tambahkan 0,5 gram keping-keping pualam.

- Catat waktu yang diperlukan sejak penambahan pualam sampai pualam itu habis bereaksi.
- Ulangi percobaan pada langkah 1 dan 2 dengan pualam yang sudah digerus halus dalam jumlah sama.

**B. Pengaruh konsentrasi larutan terhadap laju reaksi**

- Pilih 3 keping pualam dengan ukuran yang sama. Masukkan salah satu ke dalam tabung reaksi.
- Tambahkan 10 mL larutan HCl 3 M ke dalam tabung reaksi tersebut dan segera tutup mulut tabung dengan sumbat pipa yang telah dihubungkan dengan tabung reaksi lain dalam keadaan terbalik dan tegak lurus yang diletakkan dalam gelas kimia berisi air. Beri tanda batas pada dinding tabung reaksi dalam gelas kimia.
- Catat waktu yang diperlukan sampai gas CO<sub>2</sub> mencapai tanda batas pada dinding tabung!
- Ulangi percobaan serupa dengan menggunakan larutan HCl 1,5 M dan 0,75 M!

**Data Pengamatan:**

A. Pengaruh luas permukaan terhadap laju reaksi

No.	Bentuk pualam	Waktu (detik)
1.	Keping pualam	.....
2.	Serbuk pualam	.....

B. Pengaruh konsentrasi larutan terhadap laju reaksi

No.	Larutan HCl	Waktu (detik)
1.	3 M	.....
2.	1,5 M	.....
3.	0,75 M	.....

**Pertanyaan:**

- Bagaimana pengaruh luas permukaan reaktan terhadap laju reaksi?
- Bagaimana pengaruh konsentrasi reaktan terhadap laju reaksi?
- Buatlah kesimpulan dari percobaan tersebut!

## Percobaan 3.2

### Tujuan:

Menyelidiki pengaruh suhu terhadap laju reaksi.

### Alat:

Tabung reaksi, penjepit tabung, pipet tetes, kaki tiga, kasa asbes, pembakar spiritus, stopwatch, kertas, spidol, dan termometer.

### Bahan:

Larutan asam klorida (HCl) 3 M, larutan natrium tiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$ ) 0,15 M.

### Cara Kerja:

Laju reaksi antara larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$  dengan larutan HCl dapat diamati dari endapan belerang yang terbentuk.

1. Buat tanda bulatan hitam pada sehelai kertas.
2. Masukkan 1 tetes larutan HCl 3 M ke dalam tabung reaksi dan letakkan tabung tersebut di atas tanda pada kertas. Kemudian tambahkan 4 tetes larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$  0,15 M.
3. Catat waktu yang diperlukan sejak penambahan larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$  sampai tanda bulatan hitam tidak tampak lagi.
4. Ulangi percobaan pada langkah 1–3, tetapi larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$  yang akan ditambahkan dipanaskan terlebih dahulu dalam air mendidih selama 10 detik.

### Data Pengamatan:

No.	Larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$	Waktu (detik)
1	Tanpa dipanaskan	.....
2.	Setelah dipanaskan	.....

### Pertanyaan:

Bagaimana pengaruh suhu terhadap laju reaksi?

### Percobaan 3.3

**Tujuan:**

Menyelidiki pengaruh penambahan katalisator tertentu terhadap laju reaksi.

**Alat:**

Erlenmeyer 25 mL, gelas ukur 10 mL, stopwatch.

**Bahan:**

Larutan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 3%, larutan tembaga klorida ( $\text{CuCl}_2$ ) 0,5 M, dan larutan besi klorida ( $\text{FeCl}_3$ ) 0,5 M.

**Cara Kerja:**

1. Masukkan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  3% masing-masing sebanyak 5 mL ke dalam tiga buah erlenmeyer yang diberi tanda A, B, dan C.
2. Tambahkan larutan  $\text{CuCl}_2$  0,5 M sebanyak 1 mL ke dalam erlenmeyer B dan larutan  $\text{FeCl}_3$  0,5 M sebanyak 1 mL ke dalam erlenmeyer C.
3. Amati ketiga larutan tersebut dan catat waktu sampai tidak ada lagi gelembung-gelembung gas  $\text{O}_2$  yang terjadi.

**Data Pengamatan:**

No.	Erlenmeyer	Larutan	Waktu (detik)
1.	A	$\text{H}_2\text{O}_2$ 3%	.....
2.	B	$\text{H}_2\text{O}_2$ 3% + $\text{CuCl}_2$ 0,5 M	.....
3.	C	$\text{H}_2\text{O}_2$ 3% + $\text{FeCl}_3$ 0,5 M	.....

**Pertanyaan:**

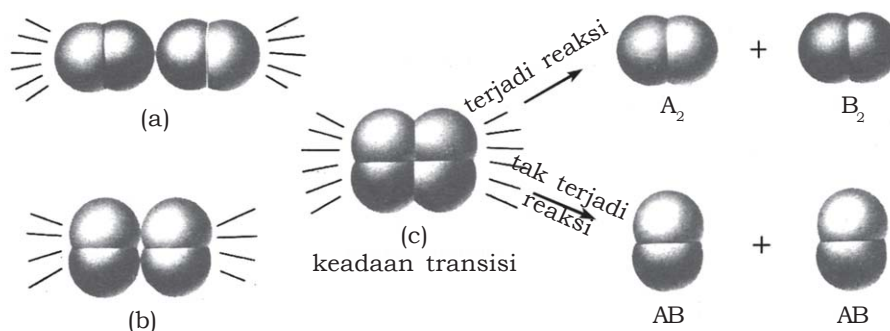
Bagaimana laju reaksi peruraian  $\text{H}_2\text{O}_2$  tanpa katalis dan dengan penambahan katalis?

#### 1. Teori Tumbukan

Jika ditinjau dari segi teknologi dan industri, pengetahuan mengenai laju reaksi sangat penting dalam menentukan kondisi-kondisi yang diperlukan untuk melakukan suatu reaksi secara cepat dan ekonomis. Kalian telah melakukan percobaan mengenai pengaruh konsentrasi reaktan, luas permukaan, suhu dan katalisator dalam mempercepat laju reaksi. Tahukah kalian bagaimana katalisator dapat mempercepat laju reaksi? Mengapa kenaikan suhu menyebabkan reaksi berlangsung lebih cepat?

Bagaimana faktor-faktor yang lain juga dapat mempercepat laju reaksi? Bagaimana sebenarnya suatu reaksi kimia bisa terjadi? Melalui teori tumbukan, kalian akan mengetahui jawaban pertanyaan-pertanyaan tersebut.

Kalian tentu masih ingat bahwa setiap molekul dalam suatu zat memiliki energi kinetik sehingga molekul-molekul tersebut selalu bergerak dengan arah yang tidak teratur. Gerakan ini memungkinkan terjadinya tumbukan antarmolekul dalam zat tersebut. Suatu reaksi kimia diduga terjadi karena molekul-molekul zat yang bereaksi saling bertumbukan satu sama lain. Meskipun demikian, tidak semua tumbukan antarmolekul menghasilkan reaksi. Ada dua kondisi yang diperlukan agar tumbukan menghasilkan suatu produk. Pertama, tumbukan antarmolekul harus tepat sasaran. Kedua, tumbukan harus menghasilkan energi yang cukup untuk memutuskan ikatan dalam molekul reaktan. Tumbukan yang tepat sasaran dan menghasilkan energi yang cukup sehingga dapat terjadi reaksi disebut sebagai tumbukan efektif.

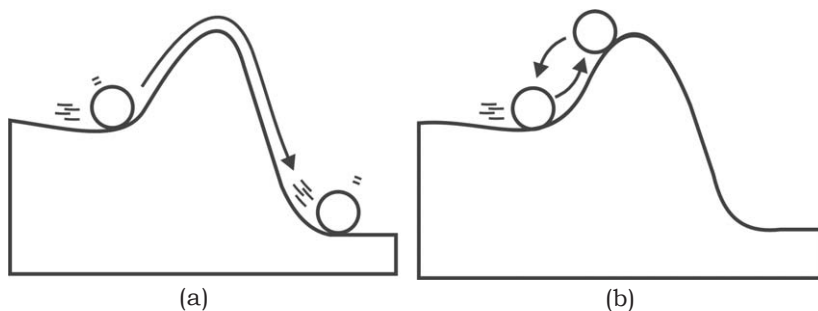


Sumber: *General Chemistry*

**Gambar 3.2** Molekul yang bertabrakan tidak tepat sasaran (a), molekul yang bertabrakan tidak cukup untuk melangsungkan reaksi (b), molekul yang melakukan tumbukan efektif (c)

Untuk setiap reaksi kimia, dibutuhkan energi minimum agar reaksi dapat berlangsung, yang disebut sebagai **energi aktivasi** ( $E_a$ ). Energi aktivasi bergantung pada sifat reaksi. Pada reaksi yang berlangsung cepat, energi aktivasinya kecil. Sebaliknya, pada reaksi yang lebih lambat berarti energi aktivasinya lebih besar. Agar reaksi bisa terjadi, maka molekul-molekul zat yang bereaksi harus memiliki energi kinetik di atas energi aktivasi. Energi aktivasi digambarkan sebagai penghalang yang harus dilewati molekul reaktan untuk dapat membentuk produk. Misalkan molekul reaktan digambarkan sebagai sebuah bola yang terletak salah satu sisi kaki bukit. Molekul harus memiliki energi cukup untuk dapat

melewati puncak bukit (penghalang) dan menggelinding ke sisi yang lain membentuk produk. Jika molekul tidak memiliki energi cukup, maka molekul tersebut tidak mampu melewati puncak bukit dan kembali menggelinding ke tempatnya semula sehingga tidak akan terbentuk produk.



Sumber: *Industry Chemistry: Concepts & Connection 3<sup>rd</sup> ed*

**Gambar 3.3** Bola menggelinding ke bawah karena adanya energi aktivasi (a), bola tidak dapat melalui bukit karena tidak ada energi aktivasi (b)

Sekarang akan kita tinjau bagaimana teori tumbukan dapat menjelaskan pengaruh konsentrasi, luas permukaan, suhu, dan katalisator terhadap laju reaksi.

## 2. Konsentrasi

Berdasarkan hasil percobaan dapat kalian ketahui bahwa reaksi akan berlangsung lebih cepat jika konsentrasi reaktan lebih tinggi. Konsentrasi reaktan berhubungan dengan frekuensi tumbukan. Semakin besar konsentrasi, semakin banyak molekul-molekul reaktan yang bereaksi sehingga semakin besar kemungkinan terjadinya tumbukan antarmolekulnya. Dengan demikian, semakin besar pula kemungkinan terjadinya reaksi atau dapat juga dikatakan reaksi berlangsung lebih cepat.

## 3. Luas Permukaan

Pada percobaan pengaruh luas permukaan partikel reaktan dihasilkan data bahwa reaksi berlangsung lebih cepat jika ukuran partikel semakin kecil. Seperti halnya jika kalian membakar kayu. Kayu yang berukuran lebih kecil akan terbakar lebih cepat dibandingkan kayu yang berukuran lebih besar. Jika ukuran reaktan yang berupa zat padat semakin kecil berarti luas permukaan yang bersentuhan dengan reaktan lain semakin besar. Semakin luas permukaan zat padat, semakin banyak tempat terjadinya tumbukan antarmolekul zat yang bereaksi sehingga laju reaksi semakin cepat.



#### 4. Suhu

Pada umumnya reaksi akan berlangsung lebih cepat jika suhu dinaikkan. Biasanya kenaikan suhu sebesar  $10^{\circ}\text{C}$  dapat meningkatkan laju reaksi sampai dua atau tiga kali lipat.

Dirumuskan:

$$v_t = \Delta v^{\frac{T_t - T_0}{\Delta T}} v_0$$

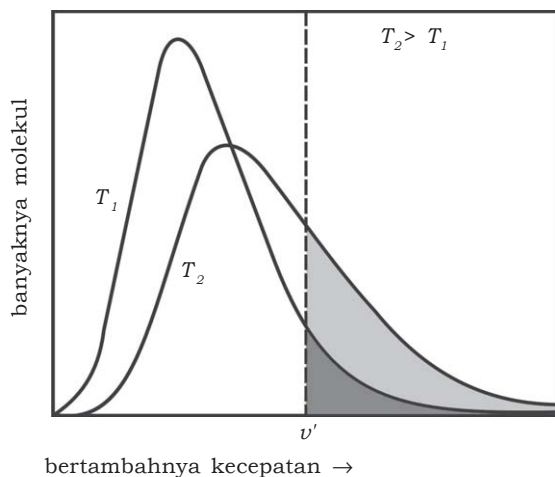
#### Keterangan:

$\Delta v$  = perubahan laju reaksi       $T_0$  = suhu awal

$\Delta T$  = perubahan suhu               $v_0$  = laju awal

$T_t$  = suhu akhir

Jika suhu reaksi dinaikkan, maka energi kinetik molekul-molekul reaktan akan bertambah. Semakin bertambahnya energi kinetik menyebabkan molekul-molekul reaktan bergerak lebih cepat sehingga tumbukan antarmolekul reaktan yang bereaksi juga lebih sering terjadi. Akibatnya reaksi akan berlangsung lebih cepat.



Sumber: Kimia untuk Universitas

**Gambar 3.4** Pengaruh suhu terhadap laju reaksi

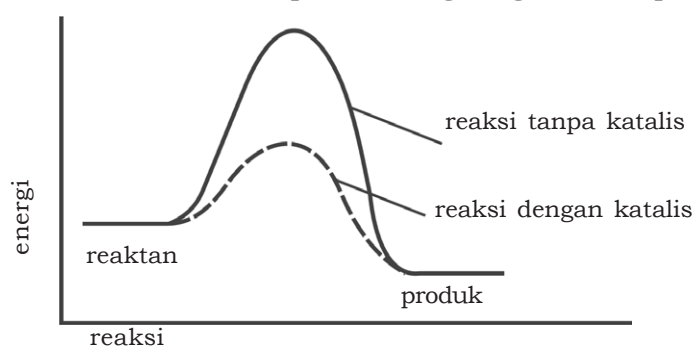
Adanya kenaikan suhu reaksi akan meningkatkan energi kinetik molekul-molekul reaktan. Hal itu berarti bahwa semakin banyak molekul yang memiliki energi kinetik yang melampaui harga energi aktivasi. Jadi, ketika molekul-molekul reaktan saling bertumbukan akan dihasilkan energi yang cukup untuk memutuskan ikatan molekul reaktan dan membentuk molekul produk. Dengan demikian, laju reaksi juga meningkat.

Pengaturan suhu sangat penting untuk menciptakan kondisi yang menguntungkan. Misalnya, ketika kalian memasak air maka nyala api dibesarkan untuk meningkatkan suhu sehingga pemasakan air berlangsung lebih cepat. Begitu pula, untuk mempercepat proses pemasakan makanan dengan menaikkan suhu. Sebaliknya, untuk memperlambat reaksi maka suhu harus diturunkan, misalnya supaya makanan tidak cepat membusuk maka disimpan di dalam lemari pendingin.

## 5. Katalisator

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa laju suatu reaksi dapat ditingkatkan dengan menaikkan suhu reaksi. Untuk beberapa alasan, peningkatan suhu reaksi tidak praktis dan ekonomis. Ada beberapa reaktan dan produk yang justru akan terurai pada suhu tinggi. Untungnya ada zat tertentu yang disebut katalisator yang dapat mempercepat laju reaksi tanpa menimbulkan dampak yang merugikan.

Sebagaimana kalian ketahui, **katalisator** adalah zat yang ikut bereaksi mempercepat laju reaksi, tetapi setelah reaksi berhenti akan terbentuk zat katalisator kembali. Jadi, setelah reaksi berlangsung katalisator akan diperoleh kembali dalam jumlah yang tetap. Beberapa reaksi yang berlangsung lambat dapat dipercepat dengan adanya katalisator. Bagaimana katalisator dapat mempercepat laju reaksi kimia? Dalam reaksi kimia, molekul-molekul reaktan dapat berubah menjadi produk jika dapat melampaui energi aktivasi. Katalisator yang ditambahkan pada suatu reaksi akan mengubah jalannya reaksi, yaitu dengan memilih jalan yang energi aktivasinya lebih rendah. Jadi, adanya penambahan katalisator dalam suatu reaksi akan menurunkan energi aktivasi. Dengan demikian reaksi dapat berlangsung lebih cepat.



Sumber: *Basic Concept of Chemistry 5<sup>th</sup>ed*

**Gambar 3.5** Pengaruh katalis terhadap energi aktivasi

Katalisator dibedakan menjadi dua jenis, yaitu katalisator homogen dan katalisator heterogen. Katalisator homogen adalah katalisator yang fasenya sama dengan reaktan yang bereaksi, biasanya berupa larutan. Larutan tembaga klorida ( $\text{CuCl}_2$ ) dan larutan besi klorida ( $\text{FeCl}_3$ ) yang ditambahkan pada reaksi peruraian larutan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dalam Percobaan 3.3 termasuk katalisator homogen. Reaksi kimia lain yang lajunya dipercepat oleh katalisator homogen adalah reaksi fase gas antara belerang dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ). Reaksi oksidasi belerang dioksida menjadi belerang trioksida ( $\text{SO}_3$ ) berlangsung sangat lambat. Laju reaksi tersebut dapat dipercepat dengan penambahan nitrogen oksida ( $\text{NO}$ ) yang berfungsi sebagai katalisator.

Katalisator heterogen adalah katalisator yang fasenya berbeda dengan reaktan yang bereaksi. Pada umumnya katalisator heterogen berupa zat padat dan reaktannya berupa gas atau larutan. Katalisator heterogen beraksi dengan mengadsorpsi reaktan ke permukaan katalis. Salah satu contoh reaksi yang melibatkan katalisator heterogen adalah proses hidrogenasi etilena menjadi etana. Laju reaksi hidrogenasi ini dipercepat oleh adanya katalisator logam nikel, yang berupa bubuk yang sangat halus.

Banyak proses industri yang menggunakan katalisator supaya prosesnya berlangsung lebih cepat. Hal ini dilakukan untuk mengurangi biaya produksi. Pada umumnya katalisator yang digunakan berupa katalisator heterogen.

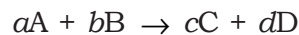
Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** kalian dalam memahami materi tersebut, kerjakanlah Latihan 3.1 berikut.

### Latihan 3.1

1. Apakah yang dimaksud dengan energi pengaktifan? Jelaskan!
2. Tidak setiap tumbukan menghasilkan reaksi, mengapa?
3. Kecepatan reaksi dari suatu reaksi tertentu bertambah menjadi dua kali lipat untuk tiap kenaikan temperatur  $10^\circ\text{C}$ . Berapa kali lebih cepatkah reaksi tersebut akan berlangsung pada  $25^\circ\text{C}$  dibandingkan terhadap  $75^\circ\text{C}$ ?
4. Laju suatu reaksi menjadi empat kali lebih besar apabila konsentrasi salah satu pereaksi dibuat dua kali lebih besar sementara konsentrasi pereaksi yang lain tidak diubah. Berapa orde reaksi terhadap pereaksi itu?

### C. Persamaan Laju Reaksi

Secara percobaan diketahui bahwa laju reaksi bergantung pada konsentrasi reaktan. Hubungan antara laju reaksi dengan konsentrasi reaktan dinyatakan dalam suatu persamaan yang disebut persamaan laju reaksi atau hukum laju reaksi. Misalkan suatu reaksi memenuhi persamaan reaksi berikut.



Persamaan laju reaksinya dinyatakan sebagai berikut.

$$v = k [A]^m[B]^n$$

**Keterangan:**

$v$  = laju reaksi (M/det)

$k$  = tetapan laju reaksi

$[A]$  = konsentrasi reaktan A (M)

$[B]$  = konsentrasi reaktan B (M)

$m$  = orde (tingkat) reaksi terhadap reaktan A

$n$  = orde (tingkat) reaksi terhadap reaktan B

Harga tetapan laju reaksi ( $k$ ) bergantung pada suhu reaksi. Jika suhu reaksi berubah, maka harga  $k$  juga akan berubah. Jadi, setiap reaksi memiliki harga  $k$  yang tertentu pada suhu tertentu. Reaksi yang berlangsung cepat memiliki harga  $k$  yang besar. Sebaliknya, reaksi yang berlangsung lambat memiliki harga  $k$  yang kecil.

Jika kalian tinjau kembali persamaan laju reaksi tersebut, maka akan terlihat bahwa laju suatu reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi masing-masing reaktan yang diberi pangkat tertentu. Pangkat konsentrasi reaktan inilah yang disebut sebagai orde reaksi. Orde reaksi keseluruhan merupakan jumlah total dari orde reaksi semua reaktan, di mana dalam persamaan ini adalah jumlah dari  $m$  dan  $n$ .

Orde suatu reaksi memberikan gambaran mengenai besarnya pengaruh konsentrasi reaktan pada laju reaksi kimia. Kebanyakan orde reaksi bernilai 1 atau 2, tetapi ada juga yang bernilai pecahan bahkan nol. Jika orde reaksi terhadap suatu reaktan bernilai nol, artinya konsentrasi reaktan tersebut tidak mempengaruhi laju reaksi. Jika nilai orde reaksi terhadap suatu reaktan semakin besar, maka semakin besar pula pengaruh konsentrasi reaktan tersebut terhadap laju reaksi.

Orde reaksi tidak dapat ditentukan dari koefisien reaktan melainkan harus ditentukan melalui percobaan. Misalkan, pada percobaan penentuan laju reaksi antara gas hidrogen ( $H_2$ ) dengan nitrogen oksida (NO) pada suhu  $800^\circ C$  diperoleh data sebagai berikut.

**Tabel 3.1 Hasil Percobaan Penentuan Laju Reaksi antara Gas  $H_2$  dan Gas NO pada  $800^\circ C$**

Percobaan	Konsentrasi Awal (M)		Laju Reaksi (M/det)
	$H_2$	NO	
1	0,1	2	0,12
2	0,2	0,1	0,24
3	0.2	0.2	0.96

Sumber: Chemistry: Principles and Reactions

Berdasarkan data percobaan tersebut, kalian dapat menentukan orde reaksi terhadap  $H_2$  dan juga NO. Orde reaksi terhadap  $H_2$  ditentukan dari harga konsentrasi NO yang dibuat konstan, sedangkan orde reaksi terhadap NO ditentukan dari konsentrasi  $H_2$  yang dibuat konstan. Kita misalkan persamaan laju reaksi adalah  $v = k [H_2]^m [NO]^n$ . Jadi, dari data tersebut, orde reaksi terhadap  $H_2$  ditentukan dengan membandingkan laju reaksi yang diperoleh dari percobaan 1 dan 2, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k [H_2]^m [NO]^n}{k [H_2]^m [NO]^n}$$

$$\frac{0,24}{0,12} = \frac{k [0,2]^m [0,1]^n}{k [0,1]^m [0,1]^n}$$

$$2 = 2^m$$

$$m = 1$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan orde reaksi terhadap  $H_2$  adalah 1. Orde reaksi terhadap NO ditentukan dengan membandingkan laju reaksi yang diperoleh dari percobaan 2 dan 3, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{k [\text{H}_2]^m [\text{NO}]^n}{k [\text{H}_2]^m [\text{NO}]^n}$$

$$\frac{0,96}{0,24} = \frac{k (0,2)^m (0,2)^n}{k (0,2)^m (0,1)^n}$$

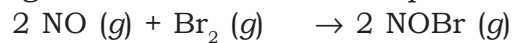
$$4 = 2^n$$

$$n = 2$$

Jadi, dari hasil perhitungan tersebut didapatkan orde reaksi terhadap NO adalah 2.

### Contoh Soal 3.2

Pada temperatur 273°C, gas brom dapat bereaksi dengan nitrogen monoksida menurut persamaan reaksi:



Data hasil eksperimen dari reaksi itu adalah sebagai berikut:

Percobaan	Konsentrasi Awal (mol/liter)		Laju Reaksi (mol/liter.detik)
	NO	Br	
1	0,1	0,05	6
2	0,1	0,10	12
3	0,1	0,20	24
4	0,2	0,05	24
5	0,3	0,05	54

Tentukan:

- Tingkat reaksi terhadap NO
- Tingkat reaksi terhadap Br<sub>2</sub>
- Tingkat reaksi total
- Persamaan laju reaksinya
- Tetapan laju reaksi (*k*)

**Penyelesaian:**

Misal persamaan laju reaksi  $v = k [\text{NO}]^m [\text{Br}_2]^n$

- a. Untuk menentukan tingkat reaksi terhadap NO digunakan  $[\text{Br}_2]$  yang sama, yaitu percobaan 1 dan 4.

$$\frac{v_1}{v_4} = \frac{[\text{NO}]_1^m}{[\text{NO}]_4^m}$$

$$\frac{6}{24} = \left(\frac{0,1}{0,2}\right)^m$$

$$m = 2$$

tingkat reaksi terhadap NO = 2

- b. Untuk menentukan tingkat reaksi terhadap  $\text{Br}_2$  digunakan  $[\text{NO}]$  yang sama, yaitu percobaan 1 dan 2.

$$\frac{v_1}{v_4} = [\text{Br}_2]_1^n$$

$$\frac{6}{12} = \left(\frac{0,05}{0,10}\right)^n$$

$$\frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$n = 1$$

tingkat reaksi terhadap  $\text{Br}_2 = 1$

- c. Tingkat reaksi total =  $m + n = 2 + 1 = 3$

- d. Persamaan reaksi =  $v = k [\text{NO}]^m [\text{Br}_2]^n$   
 $v = k [\text{NO}]^2 [\text{Br}_2]$

- e. Untuk menentukan harga  $k$ , salah satu data hasil percobaan, misalnya data percobaan 1.

$$v_1 = k [\text{NO}]_1^2 [\text{Br}_2]_1$$

$$k = \frac{v_1}{[\text{NO}]_1^2 [\text{Br}_2]_1} = \frac{6 \text{ mol/L.det}}{(0,1 \text{ mol/L})^2 (0,05 \text{ mol/L})}$$

$$k = 1,2 \times 10^4 \text{ L/mol}^2 \cdot \text{det}$$

Untuk lebih mengembangkan **semangat inovasi, kreativitas, berpikir kritis**, dan **kecakapan vokasional** kalian dalam memahami orde reaksi, lakukan Percobaan 3.4 berikut.

### Percobaan 3.4

**Tujuan:**

Menentukan orde reaksi logam magnesium dengan larutan asam klorida.

**Alat:**

Labu ukur 20 mL, erlenmeyer 50 mL, pipet gondok 10 mL, stopwatch, gunting.

**Bahan:**

Larutan HCl 2 M, pita magnesium, akuades.

**Cara Kerja:**

1. Potonglah pita magnesium sepanjang 2 cm sebanyak 6 potong.
2. Buatlah larutan HCl 1,8 M; 1,6 M; 1,4 M; 1,2 M; dan 1,0 M sebanyak 20 mL dari larutan HCl 2 M.
3. Masukkan 10 mL larutan HCl 2 M ke dalam erlenmeyer dan masukkan 1 potong pita magnesium.
4. Catat waktu ketika pita magnesium dimasukkan ke dalam larutan HCl sampai pita magnesium habis bereaksi (reaksi selesai).
5. Ulangi percobaan yang sama untuk larutan HCl yang lain.

**Data Pengamatan:**

Konsentrasi HCl (M)	Panjang Pita Mg (cm)	$t$ (detik)	$1/t$ (1/detik)
2,8	2		
1,8	2		
1,6	2		
1,4	2		
1,2	2		
1,0	2		



**Pertanyaan:**

Dari data percobaan yang kalian peroleh, tentukan orde reaksi dari reaksi logam magnesium dengan larutan HCl tersebut dengan membuat grafik  $1/t$  vs konsentrasi dan  $1/t$  vs (konsentrasi)<sup>2</sup>.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** kalian dalam memahami materi tersebut, kerjakanlah Latihan 3.2 berikut.

**Latihan 3.2**

1. Suatu reaksi:  
 $2 \text{NO} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{NOCl}$   
mempunyai persamaan laju reaksi:  
 $v = 0,4 [\text{NO}]^2 [\text{Cl}_2]$   
Jika dalam volume 4 liter direaksikan 4,8 mol gas NO dan 3,6 mol gas  $\text{Cl}_2$ . Tentukan laju reaksi pada saat 75% gas NO bereaksi!

2. Suatu reaksi berlangsung menurut orde satu. Jika tetapan laju reaksinya  $2,8 \times 10^{-4}$  dan konsentrasi awal 0,5 M, berapa laju reaksi awalnya?

3. Suatu reaksi:  
 $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$   
Data percobaan laju reaksi:

[A](M)	[B](M)	Laju Reaksi (M/det)
0,1	0,1	0,015
0,2	0,1	0,060
0,3	0,2	0,540

- a. Tentukan masing-masing orde A dan B!
  - b. Tentukan orde reaksi!
  - c. Tentukan harga tetapan laju reaksi!
  - d. Tuliskan persamaan laju reaksi!
4. Reaksi:  $\text{A} + 2\text{B} \rightarrow 2\text{C}$  mempunyai laju reaksi  $2,5 \times 10^{-5}$  M/det pada saat  $[\text{A}] = 0,5$  M.
    - a. Tentukan laju pembentukan zat C!
    - b. Berapa  $[\text{A}]$  satu menit kemudian?
    - c. Dengan menganggap bahwa laju reaksi terhadap A tetap  $2,5 \times 10^{-5}$  M/det, berapa lama waktu diperlukan untuk mengubah  $[\text{A}]$  dari mula-mula 0,5 M menjadi 0,49 M?

## Rangkuman

1. Laju reaksi merupakan ukuran cepat lambat berlangsungnya reaksi kimia dan dinyatakan sebagai perubahan konsentrasi reaktan dan produk tiap satuan waktu.
2. Penentuan laju reaksi dengan mengukur banyaknya produk yang terbentuk atau banyaknya reaktan yang bereaksi.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi adalah konsentrasi reaktan, luas permukaan reaktan, suhu, dan katalisator.
4. Teori tumbukan menyatakan reaksi kimia terjadi karena adanya tumbukan antara partikel-partikel reaktan. Tumbukan efektif terjadi jika menghasilkan energi yang cukup untuk memutuskan ikatan dalam molekul reaktan.
5. Laju reaksi dapat dipercepat dengan cara:
  - a. Meningkatkan konsentrasi reaktan
  - b. Memperkecil ukuran reaktan (zat padat)
  - c. Meningkatkan suhu reaksi
  - d. Menambahkan katalisator:
    - 1) katalisator homogen, satu fase dengan reaktan
    - 2) katalisator heterogen, beda fase dengan reaktan
6. Persamaan atau hukum laju reaksi menyatakan hubungan laju reaksi dengan konsentrasi reaktan.
7. Tetapan laju reaksi ( $k$ ) bergantung pada suhu reaksi dan memiliki harga tertentu untuk setiap reaksi.
8. Orde reaksi merupakan pangkat konsentrasi reaktan dalam persamaan laju reaksi. Orde reaksi semakin besar, pengaruh konsentrasi reaktan terhadap laju reaksi kimia semakin besar.

## Evaluasi

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Diantara data kondisi reaksi berikut:

No.	Seng	[HCl]	Suhu (celcius)
1.	serbuk	0,1M	35
2.	serbuk	0,1M	45
3.	lempeng	0,2M	25
4.	serbuk	0,2M	45
5.	lempeng	0,2M	45

Laju reaksinya paling rendah adalah . . . .

- A. 1  
B. 2  
C. 3  
D. 4  
E. 5
2. Data percobaan untuk reaksi:  
 $A + B \rightarrow AB$  adalah sebagai berikut.

No.	[A] mol/L	[B] mol/L	Laju Reaksi M/det
1	0,1	0,05	20
2	0,3	0,05	180
3	0,1	0,2	320

Orde reaksi terhadap A dan B berturut-turut adalah . . . .

- A. 2 dan 4  
B. 2 dan 2  
C. 2 dan 1  
D. 1 dan 2  
E. 1 dan 1
3. Perhatikan data eksperimen sebagai berikut.

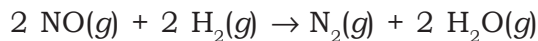
Percobaan	[H <sub>2</sub> ] M	[SO <sub>2</sub> ] M	Waktu (detik)
1	0,1	0,4	36
2	0,2	0,4	18
3	0,4	0,4	9
4	0,4	0,2	18
5	0,4	0,1	36

Berdasarkan data tersebut, pernyataan yang benar adalah

.....

- A. orde reaksi terhadap  $H_2$  adalah 2
- B. orde reaksi terhadap  $SO_2$  adalah 2
- C. orde reaksi total adalah 4
- D. persamaan laju reaksi:  $v = k [H_2]^2 [SO_2]^2$
- E. laju reaksi menjadi 4 kali jika  $[H_2]$  dan  $[SO_2]$  diperbesar 2 kali

4. Dari reaksi :



diperoleh data percobaan sebagai berikut:

Nomor percobaan	Konsentrasi (M)		Laju reaksi M/det
	NO	$H_2$	
1	$2 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-6}$
2	$4 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-6}$
3	$6 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$12 \times 10^{-6}$
4	$4 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-3}$	$24 \times 10^{-6}$
5	$4 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-3}$	$32 \times 10^{-6}$

Persamaan laju reaksi tersebut adalah . . . .

- A.  $v = k [NO] [H_2]$
- B.  $v = k [NO]^2 [H_2]$
- C.  $v = k [NO] [H_2]^2$
- D.  $v = k [NO]^2 [H_2]$
- E.  $v = k [H_2]^2$

5. Dalam suatu percobaan penentuan laju reaksi  $P + Q \rightarrow$  hasil, diperoleh data sebagai berikut:

No	[P]M	[Q]M	Laju reaksi (M/det)
1	0,4	0,2	0,096
2	0,3	0,1	0,004
3	0,2	0,2	0,048
4	0,1	0,1	0,006
5	0,05	0,5	0,001

Dari percobaan di atas dapat disimpulkan bahwa orde reaksi totalnya adalah. . . .

- A. 1
- B. 2
- C. 3
- D. 4
- E. 5

6. Laju reaksi  $2P + 3Q_2 \rightarrow 2PQ_3$  dapat dinyatakan sebagai . . . .
- penambahan konsentrasi P tiap satuan waktu
  - penambahan konsentrasi  $Q_2$  tiap satuan waktu
  - penambahan konsentrasi  $PQ_3$  tiap satuan waktu
  - penambahan konsentrasi P dan  $Q_2$  tiap satuan waktu
  - penambahan konsentrasi P,  $Q_2$ , dan  $PQ_3$  tiap satuan waktu
7. Pada reaksi  $2 CO (g) + O_2 (g) \rightarrow 2 CO_2 (g)$  diperoleh data:

No	Konsentrasi [CO] M	Mula-mula [O <sub>2</sub> ] M	Laju Reaksi M/det
1.	$2 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-4}$
2.	$4 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-4}$
3.	$4 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-3}$	$32 \times 10^{-4}$

Orde reaksinya adalah . . . .

- 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
8. Untuk reaksi  $A + B + C \rightarrow D + E$  diperoleh data:

[A] (molar)	[B] (molar)	[C] (molar)	Laju Reaksi (molar/menit)
1,0	1,0	1,0	$1,0 \times 10^{-2}$
1,0	1,0	0,5	$2,5 \times 10^{-3}$
1,0	2,0	0,5	$5,0 \times 10^{-3}$
2,0	2,0	1,0	$4,0 \times 10^{-2}$

Orde reaksi adalah . . . .

- 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
9. Data eksperimen untuk reaksi  $2A(g) + B(g) \rightarrow 2AB(g)$  terdapat dalam tabel berikut:

Perc.	[A] Awal (mol/L)	[B] Awal (mol/L)	Laju Reaksi (mol/L.detik)
1	0,1	0,1	6
2	0,1	0,2	12
3	0,1	0,3	18
4	0,2	0,1	24
5	0,3	0,1	54



5. Untuk reaksi  $A + B \rightarrow AB$  diperoleh data sebagai berikut. Jika konsentrasi A dinaikkan dua kali pada konsentrasi B tetap, laju reaksi menjadi 2 kali lebih besar, dan jika konsentrasi A dan B 2 kali, laju reaksinya menjadi 8 kali. Tentukan persamaan laju reaksinya!

**Proyek:** Mengembangkan kecakapan vokasional dan menumbuhkan daya saing

Bagilah kelas kalian menjadi beberapa kelompok, tiap kelompok terdiri dari 4 orang. Kemudian lakukanlah percobaan sederhana berikut di rumah.

1. Siapkan alat dan bahan yang diperlukan, yaitu: gelas, gunting, jam digital (*stopwatch*), larutan asam cuka, dan kulit telur.
2. Potong kulit telur menjadi segi empat dengan sisi + 2 cm.
3. Masukkan satu potong kulit telur ke dalam gelas kemudian tuangi dengan asam cuka hingga setengah gelas.
4. Catat waktu yang diperlukan mulai saat larutan cuka dituangkan hingga semua kulit telur larut.
5. Ulangi percobaan dengan kulit telur 1 potong yang dihaluskan terlebih dahulu.
6. Ulangi lagi percobaan dengan terlebih dahulu mengencerkan 1/4 gelas air sehingga menjadi setengah gelas, baru dituangkan ke kulit telur.

Buatlah kesimpulan dari percobaan tersebut dan presentasikan di depan kelas!

# Bab IV

## Kesetimbangan Kimia



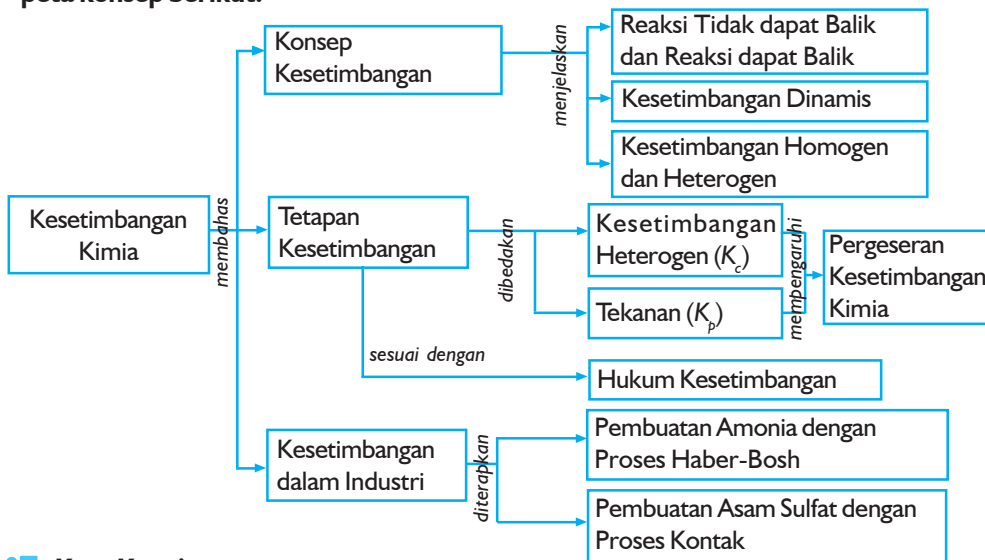
Sumber gambar: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menganalisis kesetimbangan kimia, faktor-faktor yang mempengaruhinya dengan melakukan, dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan industri.

### Peta Konsep

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut, perhatikanlah peta konsep berikut.



### Kata Kunci

Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini. Berikut ini adalah kata kunci dalam bab IV.

Azas Le Chatelier	Kesetimbangan dinamis	Reaksi dapat balik
Hasil bagi reaksi ( $Q$ )	Kesetimbangan homogen	Tetapan kesetimbangan ( $K$ )
Hukum kesetimbangan	Kesetimbangan heterogen	
Keadaan setimbang	Pergeseran kesetimbangan	





Sumber: Dok. Penerbit

**Gambar 4.1** Air dalam botol terbuka dan tertutup

Tahukah kalian tentang kesetimbangan? Coba kalian simpan air di dalam sebuah botol terbuka dan botol tertutup. Apa yang terjadi beberapa hari kemudian? Air di dalam botol terbuka tampak berkurang, sedangkan air dalam botol tertutup relatif tetap. Mengapa demikian? Kalian tentu tahu bahwa pada suhu tertentu air akan berubah menjadi uap air (menguap). Uap air ini kemudian berubah lagi menjadi air (mengkondensasi). Di dalam botol terbuka, air yang menguap akan keluar dari botol sehingga jumlah air di dalam botol akan berkurang. Sebaliknya, air yang menguap di dalam botol tertutup akan mengembun dan mengalir kembali ke dalam botol sehingga jumlah air tidak berkurang.

Pada botol tertutup terjadi proses penguapan dan juga pengembunan air. Jika proses tersebut berlangsung dengan laju yang sama, sepertinya tidak ada yang berubah sehingga jumlah air relatif tetap. Itulah yang disebut sebagai kesetimbangan. Proses penguapan dan pengembunan tersebut berlangsung terus-menerus sehingga dikatakan sebagai kesetimbangan dinamis. Apakah semua reaksi berlangsung dalam kesetimbangan? Bagaimana suatu reaksi dapat mencapai kesetimbangan dinamis? Adakah faktor yang dapat mempengaruhi posisi kesetimbangan? Nah, pada bab ini kalian akan dikenalkan dengan bahasan kesetimbangan kimia yang akan membantu kalian menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.

## A. Konsep Kesetimbangan

### 1. Reaksi Tidak dapat Balik dan Reaksi dapat Balik

Pernahkah kalian membakar kayu? Apa yang dihasilkan ketika kayu habis terbakar? Pastilah yang tersisa hanya abu, bukan? Dapatkah abu sisa pembakaran diubah menjadi kayu lagi? Hal itu tentu saja tidak dapat dilakukan, bukan? Oleh karena itu, reaksi pembakaran kayu dikatakan sebagai reaksi yang tidak dapat balik (*irreversible*). Reaksi tidak dapat balik berlangsung satu arah. Artinya produk reaksi tidak dapat saling bereaksi untuk menghasilkan reaktan kembali. Contoh lain dari reaksi tidak dapat balik adalah reaksi antara larutan natrium bikarbonat dan asam klorida berikut ini.

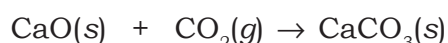


Pada reaksi tersebut, reaksi hanya berlangsung ke arah pembentukan produk. Produk yang dihasilkan tidak dapat saling bereaksi untuk menghasilkan reaktan.

Reaksi kimia selain berlangsung satu arah dapat juga berlangsung dua arah atau dikatakan sebagai reaksi dapat balik (*reversible*). Kebanyakan reaksi kimia merupakan reaksi dapat balik. Reaktan-reaktan bereaksi membentuk produk. Jika reaktan dan produk tetap bercampur, produk dapat saling bereaksi untuk membentuk reaktan kembali. Sebagai contoh, kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dipanaskan dalam wadah tertutup akan membentuk kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ).



Kalsium oksida dan karbon dioksida yang terbentuk dapat saling bereaksi dan membentuk kalsium karbonat kembali.



Jika kalian amati kedua reaksi tersebut, ternyata reaksi kedua merupakan kebalikan dari reaksi pertama. Produk saling bereaksi untuk membentuk reaktan kembali. Oleh karena itu, reaksinya disebut sebagai reaksi dapat balik. Kedua reaksi tersebut dapat dituliskan sekaligus menggunakan panah ganda.



Tanda panah ganda menunjukkan reaksi bersifat dapat balik. Reaksi ke arah kanan disebut sebagai reaksi maju, sedangkan reaksi ke arah kiri disebut sebagai reaksi balik. Reaksi dapat balik sering dikatakan sebagai reaksi bolak-balik.

Untuk lebih mengembangkan **semangat inovasi, kreativitas, berpikir kritis** dan **kecakapan vokasional** kalian dalam memahami reaksi bolak-balik, lakukanlah Percobaan 4.1 berikut.

### Percobaan 4.1

**Tujuan:**

Menyelidiki suatu reaksi kimia yang bolak-balik.

**Alat:**

Gelas kimia 25 mL, pipet tetes, corong gelas, batang pengaduk, dan neraca analitis.

**Bahan:**

Timbal sulfat, larutan natrium iodida 1 M, larutan natrium sulfat 1 M, kertas saring, dan akuades.

**Cara Kerja:**

1. Masukkan 2 gram kristal  $PbSO_4$  ke dalam gelas kimia.
2. Tambahkan 10 mL larutan  $NaI$  1 M sedikit demi sedikit sambil diaduk. Amati perubahan warna yang terjadi.
3. Pisahkan endapan yang terbentuk dari larutannya. Cuci endapan dengan akuades sebanyak dua kali.
4. Tambahkan 10 mL larutan  $Na_2SO_4$  1 M pada endapan tersebut. Aduk campuran reaksi  $Na_2SO_4$  dan amati perubahan warna yang terjadi.

**Data Pengamatan:**

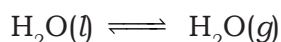
No.	Reaksi	Pengamatan
1.	$PbSO_4$ + larutan $NaI$	.....
2.	Endapan hasil reaksi + larutan $Na_2SO_4$	.....

**Pertanyaan:**

1. Apakah reaksi antara timbal sulfat dan larutan natrium iodida sifatnya bolak-balik? Berdasarkan hasil pengamatan, bagaimana sifat masing-masing arah reaksi?
2. Kesimpulan apa yang dapat kalian peroleh dari percobaan tersebut? Buatlah laporannya!

## 2. Keseimbangan Dinamis

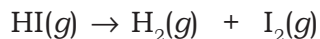
Pada reaksi penguapan dan pengembunan air yang terjadi dalam botol tertutup, keadaan keseimbangan dinamis tercapai ketika reaksi berlangsung terus-menerus dengan laju yang sama pada kedua arah. Jadi, keseimbangan dinamis hanya dapat terjadi pada reaksi bolak-balik dalam suatu sistem tertutup. Keseimbangan antara air dan uap air disebut keseimbangan fisik karena perubahan yang terjadi hanyalah proses fisika. Keseimbangan fisik adalah keseimbangan yang terjadi antara dua fase yang berbeda dari zat yang sama.



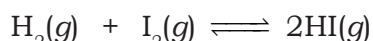
Selain keseimbangan fisik dikenal juga keseimbangan kimia. Pada bab ini, perhatian kita hanya dipusatkan pada keseimbangan kimia. Reaksi keseimbangan kimia melibatkan zat-zat yang berbeda baik reaktan maupun produknya. Kita ambil contoh reaksi antara gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dengan gas iodida ( $\text{I}_2$ ) dalam wadah tertutup yang berlangsung menurut persamaan berikut.



Pada reaksi tersebut,  $\text{H}_2$  dan  $\text{I}_2$  saling bereaksi membentuk asam iodida. Segera setelah sebagian HI terbentuk, HI mulai terurai kembali membentuk  $\text{H}_2$  dan  $\text{I}_2$  menurut persamaan berikut.



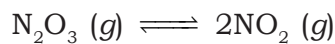
Jadi, ketika  $\text{H}_2$  direaksikan dengan  $\text{I}_2$  terjadi dua reaksi secara bersamaan, yaitu reaksi pembentukan HI dan peruraian HI. Kedua reaksi tersebut dapat ditulis sekaligus sebagai berikut.



Pada awalnya, laju pembentukan HI lebih besar dari laju peruraian HI dan reaksi tersebut berjalan ke arah kanan. Kedua reaksi berlawanan itu berlangsung terus-menerus sampai laju pembentukan HI sama besar dengan laju peruraian HI. Reaksi bolak-balik tersebut dikatakan telah mencapai keseimbangan dinamis. Pada keadaan setimbang dihasilkan suatu campuran reaktan dan produk dan tidak terjadi perubahan yang dapat diamati. Baik konsentrasi reaktan maupun produk tetap sama pada suatu waktu tertentu. Jadi, ketika reaksi antara  $\text{H}_2$  dengan  $\text{I}_2$  mencapai keseimbangan, jumlah  $\text{H}_2$ ,  $\text{I}_2$ , dan HI tetap sama dengan berjalannya waktu reaksi.

### 3. Kesetimbangan Dissosiasi

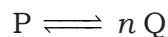
Dissosiasi adalah peruraian suatu zat menjadi zat lain yang lebih sederhana. Dissosiasi yang terjadi akibat pemanasan disebut dissosiasi termal. Dissosiasi yang berlangsung dalam ruang tertutup akan berakhir dengan suatu kesetimbangan yang disebut kesetimbangan dissosiasi. Beberapa contoh kesetimbangan dissosiasi gas:



Besarnya fraksi zat yang terdissosiasi dinyatakan dengan derajat dissosiasi ( $\alpha$ ), yaitu perbandingan antara jumlah zat yang terdissosiasi dengan jumlah zat mula-mula.

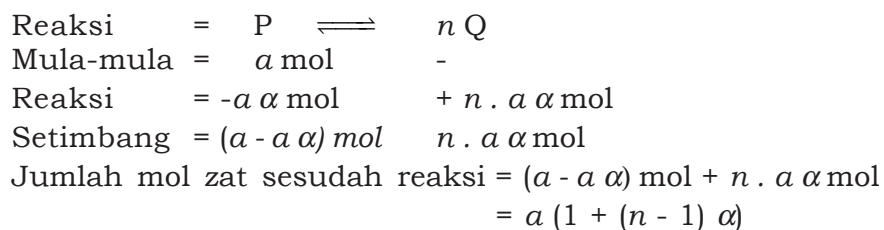
$$\alpha = \frac{\text{mol zat terdissosiasi (terurai)}}{\text{mol zat mula - mula}}$$

Secara umum reaksi dissosiasi dapat dinyatakan sebagai berikut.



Dengan  $n$  = perbandingan antara jumlah koefisien diruas kanan dengan jumlah koefisien diruas kiri.

Misal jumlah P mula-mula =  $a$  mol dan derajat dissosiasi =  $\alpha$ , maka jumlah P yang terdissosiasi =  $a \alpha$  mol, dan jumlah mol Q yang terbentuk =  $n \cdot a \alpha$  mol. Susunan kesetimbangan dapat dirumuskan sebagai berikut.



#### Contoh Soal 4.1

Sebanyak 1 mol  $\text{NH}_3$ , dipanaskan pada tekanan tetap 10 atm hingga  $300^\circ\text{C}$ . Tentukan volume akhir gas tersebut bila:

- Gas dianggap tidak mengalami dissosiasi
- Gas terdissosiasi 50%

**Penyelesaian:**

Volume gas dapat dihitung dengan rumus gas ideal.

$$pV = nRT \quad \text{atau} \quad V = \frac{nRT}{p}$$

- a. Bila gas tidak mengalami disosiasi, maka jumlah mol gas tetap 1 mol.

$$V = \frac{1 \times 0,08205 \times (273 + 300)}{10} \text{ liter} = 4,7 \text{ liter}$$

- b. Bila gas terdisosiasi 50% ( $\alpha = 0,5$ ) maka jumlah mol total campuran gas,

$$= a[1 + (n - 1)\alpha] \text{ mol}$$

$$= 1[1 + (2 - 1) 0,5] \text{ mol}$$

$$= 1,5 \text{ mol}$$

Jadi, volume gas,  $V = \frac{1,50 \times 0,08205 \times (273 + 300)}{10} = 7,05 \text{ liter}$

Untuk lebih mengembangkan **semangat inovasi, kreativitas, berpikir kritis dan kecakapan vokasional** kalian dalam memahami reaksi kesetimbangan, lakukanlah Percobaan 4.2 berikut.

**Percobaan 4.2****Tujuan:**

Menyelidiki keadaan setimbang dari suatu reaksi bolak-balik.

**Alat:**

Tabung reaksi, pipet gondok 2 mL.

**Bahan:**

Larutan kalium tiosianat (KSCN) 0,001 M, larutan besi klorida ( $\text{FeCl}_3$ ) 0,02 M, 0,1 M dan 0,2 M.

**Cara Kerja:**

1. Siapkan 3 buah tabung reaksi dan diberi tanda A, B, dan C. Masukkan larutan KSCN 0,001 M masing-masing sebanyak 2 mL ke dalam tabung.
2. Tambahkan 2 mL larutan  $\text{FeCl}_3$  0,02 M ke dalam tabung A, 2 mL larutan  $\text{FeCl}_3$  0,1 M ke dalam tabung B, dan 2 mL larutan  $\text{FeCl}_3$  0,2 M ke dalam tabung C.

3. Goyangkan ketiga tabung reaksi sampai campuran homogen dan bandingkan intensitas warna ketiga larutan.

**Data Pengamatan:**

No.	Tabung	Larutan	Warna Larutan
1.	A	KSCN 0,001 M + FeCl <sub>3</sub> 0,02 M	
2.	B	KSCN 0,001 M + FeCl <sub>3</sub> 0,1 M	
3.	C	KSCN 0,001 M + FeCl <sub>3</sub> 0,2 M	

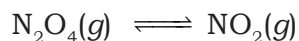
**Pertanyaan:**

Kesimpulan apa yang dapat kalian peroleh? Buatlah laporan dari hasil percobaan tersebut!

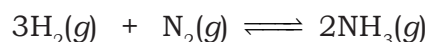
#### 4. Kestimbangan Homogen dan Heterogen

##### a. Kestimbangan Homogen

Kestimbangan homogen adalah keadaan kestimbangan di mana reaktan dan produknya berada dalam fase yang sama. Reaktan maupun produk dapat berupa gas atau larutan. Misalnya, kestimbangan pada reaksi peruraian N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> menjadi NO<sub>2</sub>. Baik N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> maupun NO<sub>2</sub> keduanya berada dalam fase gas. Reaksi kestimbangan yang terjadi sebagai berikut.



Contoh lain adalah pada reaksi pembentukan amonia dan reaksi ionisasi asam cuka dalam air. Kedua reaksi tersebut berlangsung menurut persamaan berikut.



##### b. Kestimbangan Heterogen

Kestimbangan heterogen merupakan keadaan kestimbangan di mana reaktan dan produk berada dalam fase yang berbeda. Sebagai contoh adalah kestimbangan yang terjadi ketika kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dipanaskan membentuk kalsium oksida (CaO) dan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Kalsium karbonat dan CaO berwujud padat, sedangkan CO<sub>2</sub> berwujud gas. Reaksi yang terjadi sebagai berikut.



## B. Tetapan Kesetimbangan

### 1. Hukum Kesetimbangan dan Persamaan Tetapan Kesetimbangan

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, pada keadaan kesetimbangan, konsentrasi reaktan maupun produk tidak berubah dengan berjalannya waktu reaksi. Fakta ini dibuktikan oleh ahli kimia Norwegia, **Cato Guldberg** dan **Peter Waage** (1864) yang mengamati bahwa perubahan jumlah reaktan maupun produk pada reaksi bolak-balik akan menyebabkan pergeseran kesetimbangan. Ketika mereka menambahkan lebih banyak reaktan, kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan produk. Sebaliknya, ketika mereka menambahkan lebih banyak produk, kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan reaktan. Jadi, dapat dikatakan bahwa pada setiap reaksi bolak-balik selalu terjadi pergeseran kesetimbangan. Secara umum, reaksi bolak-balik berlangsung menurut persamaan berikut.

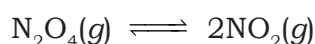


dengan A dan B adalah reaktan, C dan D adalah produk, sedangkan a, b, c, dan d adalah koefisien persamaan reaksi bolak-balik.

Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, mereka menyimpulkan bahwa terdapat hubungan yang tetap antara konsentrasi reaktan dan produk dalam kesetimbangan dan dikenal **sebagai hukum kesetimbangan kimia** atau **hukum aksi massa**. Hasil bagi konsentrasi produk dipangkatkan koefisien reaksi dan reaktan dipangkatkan koefisien reaksi selalu memberikan nilai yang sama pada suhu tertentu, dan dinamakan tetapan kesetimbangan ( $K_c$ ). Secara matematis, hukum kesetimbangan kimia dapat diungkapkan dalam persamaan tetapan kesetimbangan yang dinyatakan sebagai berikut.

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

Untuk lebih memahami persamaan tetapan kesetimbangan mari kita tinjau kesetimbangan  $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$  yang berlangsung menurut persamaan berikut.



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



Beberapa data percobaan untuk reaksi kesetimbangan  $\text{NO}_2$ - $\text{N}_2\text{O}_4$  pada suhu  $25^\circ\text{C}$  diberikan pada tabel 4.1 berikut ini.

**Tabel 4.1 Sistem Kesetimbangan  $\text{NO}_2$ - $\text{N}_2\text{O}_4$  pada Suhu  $25^\circ\text{C}$**

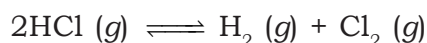
Konsentrasi Awal (M)		Konsentrasi Kesetimbangan (M)		Perbandingan Konsentrasi pada Kesetimbangan	
$[\text{NO}_2]$	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$[\text{NO}_2]$	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$\frac{[\text{NO}_2]}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$	$\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$
0,000	0,670	0,0547	0,643	0,0851	$4,65 \times 10^{-3}$
0,050	0,446	0,0457	0,448	0,102	$4,66 \times 10^{-3}$
0,030	0,500	0,0475	0,491	0,0967	$4,60 \times 10^{-3}$
0,040	0,600	0,0523	0,594	0,0880	$4,60 \times 10^{-3}$
0,200	0,000	0,0204	0,0898	0,227	$4,63 \times 10^{-3}$

Sumber: Chemistry

Dari Tabel 4.1 dapat kalian lihat bahwa perbandingan  $[\text{NO}_2]^2/[\text{N}_2\text{O}_4]$  memberikan nilai yang hampir tetap, yaitu  $4,63 \times 10^{-3}$ . Hal itu menunjukkan bahwa harga tetapan kesetimbangan relatif tetap untuk tiap reaksi kesetimbangan. Harga  $K_c$  hanya bergantung pada suhu reaksi, sehingga harga  $K_c$  akan berubah dengan berubahnya suhu.

### Contoh Soal 4.2

Dalam volume 2 liter dimasukkan 1,6 mol  $\text{HCl} (g)$  dan dibiarkan mengalami kesetimbangan menurut reaksi:



Jika dalam keadaan setimbang terdapat 0,4 mol  $\text{Cl}_2$ , tentukan:

- Harga  $K_c$
- Jika pada keadaan setimbang dimasukkan 0,6 mol gas  $\text{HCl}$ , tentukan zat pada keadaan setimbang.

**Penyelesaian:**

a.	$2\text{HCl} (g) \rightleftharpoons \text{H}_2 (g) + \text{Cl}_2 (g)$
Mula-mula:	1,6                      -                      -
Reaksi:	0,8                      0,4                      0,4
Setimbang:	0,8                      0,4                      0,4 mol

$$K_c = \frac{[H_2][Cl_2]}{[HCl]^2} = \frac{(0,4/2)(0,4/2)}{(0,8/2)^2} = \frac{(0,4)(0,4)}{(0,8)^2} = \frac{0,16}{0,64} = 0,25$$

Perhatikan untuk jumlah koefisien di kiri sama dengan di kanan, volume tidak berpengaruh.

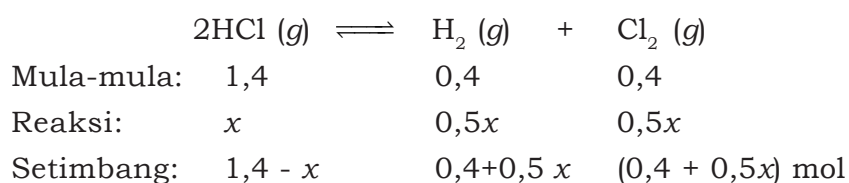
- b. Jika pada keadaan setimbang dimasukkan 0,6 mol gas HCl, maka:

$$\text{mol HCl semula} = 0,8 + 0,6 = 1,4 \text{ mol}$$

$$\text{mol H}_2 \text{ semula} = 0,4 \text{ mol}$$

$$\text{mol Cl}_2 \text{ semula} = 0,4 \text{ mol}$$

Reaksi bergeser ke kanan dan misalkan HCl yang bereaksi sebesar  $x$  mol, harga  $K_c$  tidak berubah oleh perubahan konsentrasi:



$$K_c = \frac{[H_2][Cl_2]}{[HCl]^2}$$

$$0,25 = \frac{(0,4 + 0,5x)(0,4 + 0,5x)}{(1,4 - x)^2} = \left( \frac{0,4 + 0,5x}{1,4 - x} \right)^2$$

$$\sqrt{0,25} = \frac{0,4 + 0,5x}{1,4 - x}$$

$$0,7 - 0,5x = 0,4 + 0,5x$$

$$0,7 - 0,4 = 0,5x + 0,5x$$

$$x = 0,3$$

Jadi,

$$\text{mol HCl setimbang} = 1,4 - 0,3 = 1,1 \text{ mol}$$

$$\text{mol H}_2 \text{ setimbang} = 0,4 + 0,5x = 0,4 + 0,15 = 0,55 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{mol Cl}_2 \text{ setimbang} &= 0,4 + 0,5x \\ &= 0,4 + 0,15 = 0,55 \text{ mol} \end{aligned}$$

## 2. Tetapan Kesetimbangan untuk Kesetimbangan Heterogen

Untuk mengetahui tetapan kesetimbangan pada kesetimbangan heterogen kita ambil contoh reaksi pemanasan  $\text{CaCO}_3$ .



Pada kesetimbangan, kita dapat menyatakan tetapan kesetimbangan sebagai berikut.

$$K_c = \frac{[\text{CaO}][\text{CO}_2]}{[\text{CaCO}_3]}$$

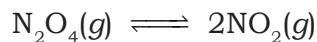
Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) merupakan padatan murni. Konsentrasi padatan tidak berubah meskipun ada perubahan volume atau suhu pada kesetimbangan. Jadi, pada kesetimbangan heterogen, tetapan kesetimbangan hanya ditentukan oleh konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  yang mengalami perubahan jika ada perubahan kondisi reaksi dan dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$K_c = [\text{CO}_2]$$

Selain padatan murni, konsentrasi cairan murni juga tidak berubah sehingga dapat dikatakan bahwa pada sistem kesetimbangan heterogen, tetapan kesetimbangan hanya ditentukan oleh konsentrasi gas maupun larutan. Jadi, konsentrasi padatan dan cairan murni tidak dituliskan dalam persamaan tetapan kesetimbangan.

## 3. Tetapan Kesetimbangan Berdasarkan Tekanan

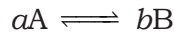
Pada sistem kesetimbangan  $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ , tetapan kesetimbangan dinyatakan dalam perbandingan konsentrasi dalam satuan mol per liter atau disebut  $K_c$ . Konsentrasi reaktan dan produk dalam reaksi kesetimbangan gas juga dapat dinyatakan dalam tekanan parsial kesetimbangan,  $P$  (dalam atmosfer). Jadi, tetapan kesetimbangan  $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$  dapat juga dituliskan sebagai  $K_p$ .



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

Secara umum, tekanan parsial reaktan dan produk tidak sama dengan konsentrasi yang dinyatakan dalam mol per liter.

Jadi,  $K_p$  tidak sama dengan  $K_c$ . Bagaimanakah hubungan antara dua tetapan kesetimbangan tersebut? Mari kita lihat persamaan umum untuk kesetimbangan dalam fase gas berikut.



Tetapan kesetimbangan  $K_c$  dan  $K_p$ , masing-masing dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$K_c = \frac{[B]^b}{[A]^a} \quad \text{dan} \quad K_p = \frac{(P_B)^b}{(P_A)^a}$$

Jika ditinjau persamaan gas ideal  $PV = nRT$ , maka tekanan parsial gas dapat dinyatakan dalam  $P = n/V (RT)$  di mana  $n/V$  merupakan konsentrasi gas dalam ruangan dan didapatkan bahwa

$$P_A = [A] RT \quad \text{dan} \quad P_B = [B] RT$$

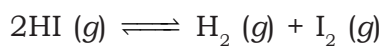
$$\begin{aligned} \text{Jadi,} \quad K_p &= \frac{[B]^b (RT)^b}{[A]^a (RT)^a} \\ &= \frac{[B]^b}{[A]^a} (RT)^{\Delta n} \end{aligned}$$

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

Dengan  $\Delta n = b - a$ , yang menyatakan jumlah koefisien produk dikurangi jumlah koefisien reaktan.

### Contoh Soal 4.3

Suatu reaksi:

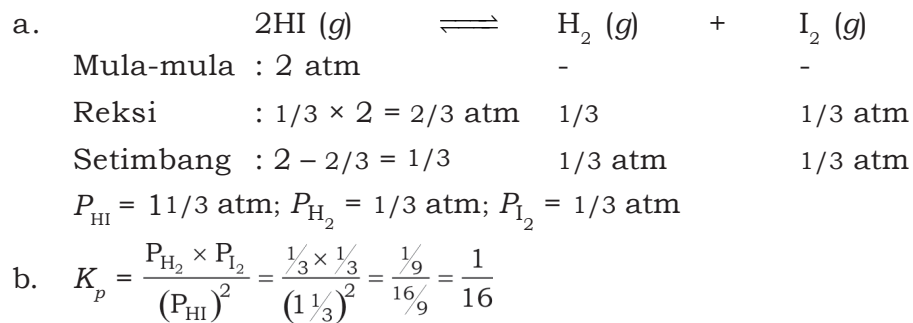


Jika pada awal, tekanan HI sebesar 2 atm dan setelah kesetimbangan ternyata 1/3 bagian HI yang terurai.

- Tentukan  $P_{\text{HI}}$ ,  $P_{\text{H}_2}$ ,  $P_{\text{I}_2}$ , pada keadaan setimbang!
- Tentukan harga  $K_p$ !

#### Penyelesaian:

Perbandingan tekanan sesuai perbandingan koefisien, perhitungan persis seperti mol.



Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** kalian, kerjakanlah Latihan 4.1 berikut!

### Latihan 4.1

- Tuliskan rumusan  $K_c$  dan  $K_p$  untuk reaksi berikut.
  - $\text{N}_2\text{O}_4 (g) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2 (g)$
  - $2\text{H}_2\text{O} (l) \rightleftharpoons 2\text{H}_2 (g) + \text{O}_2 (g)$
  - $\text{CaO} (s) + \text{SO}_2 (g) \rightleftharpoons \text{CaSO}_4 (s)$
- Tuliskan persamaan reaksi homogen untuk rumusan berikut.
  - $$K_c = \frac{[\text{N}_2][\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{NO}]^2 [\text{H}_2]^2}$$
  - $$K_c = \frac{[\text{H}_2\text{O}][\text{Cl}_2]^2}{[\text{HCl}]^4 [\text{O}_2]}$$
- Dalam suatu bejana yang bervolume 1 liter, 4 mol gas  $\text{NO}_2$  membentuk kesetimbangan, sebagai berikut.
 
$$2\text{NO}_2 (g) \rightleftharpoons 2\text{NO} (g) + \text{O}_2 (g)$$

Dalam keadaan setimbang pada suhu tetap terbentuk 1 mol gas  $\text{O}_2$ . Tentukan harga  $K_c$ !
- Pada  $425^\circ\text{C}$  dalam ruang 10 liter, 3 mol gas HI terurai menghasilkan gas  $\text{H}_2$  dan  $\text{I}_2$ . Harga  $K_p$  pada saat kesetimbangan adalah 4. Tentukan tekanan total campuran gas itu!

## 4. Makna Tetapan Kesetimbangan

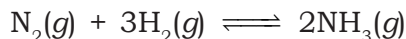
### a. Meramalkan Arah Reaksi

Jika kalian mencampurkan sejumlah tertentu reaktan dan produk dalam reaksi bolak-balik, campuran reaksi yang dihasilkan belum tentu berada dalam kesetimbangan. Reaksi mungkin berlangsung lebih ke arah pembentukan produk atau sebaliknya. Untuk mencapai kesetimbangan, reaksi harus berlangsung ke kanan atau ke kiri bergantung dari jumlah zat-zat yang dicampurkan. Bagaimana kalian mengetahui ke arah mana reaksi harus berlangsung? Setiap reaksi kesetimbangan memiliki harga tetapan kesetimbangan ( $K_c$ ) tertentu. Kalian dapat menentukan ke arah mana reaksi berlangsung untuk mencapai kesetimbangan dengan membandingkan harga  $K_c$  dan hasilbagi reaksi ( $Q_c$ ). Hasil bagi reaksi adalah harga perbandingan konsentrasi reaktan dan produk yang bentuknya sama dengan rumus  $K_c$ . Keadaan kesetimbangan tercapai jika harga  $Q_c$  sama dengan  $K_c$ .

- 1) Jika  $Q_c < K_c$ , reaksi harus berlangsung ke arah kanan untuk mencapai kesetimbangan.
- 2) Jika  $Q_c > K_c$ , reaksi harus berlangsung ke arah kiri untuk mencapai kesetimbangan.

### Contoh Soal 4.4

Dalam wadah 25 L pada suhu 400°C berlangsung reaksi:



dan terlarut campuran 0,5 mol  $\text{N}_2$ , 1,5 mol  $\text{H}_2$ , dan 0,25 mol  $\text{NH}_3$ . Ramalkan ke arah mana reaksi harus berlangsung untuk mencapai kesetimbangan jika diketahui  $K_c$  pada suhu 400°C adalah 0,5!

#### Penyelesaian:

Untuk dapat meramalkan arah reaksi, kita harus menghitung harga  $Q_c$ .

$$\begin{aligned} [\text{NH}_3] &= \frac{0,25 \text{ mol}}{25 \text{ L}} = 0,01 \text{ M} & Q_c &= \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} \\ [\text{N}_2] &= \frac{0,5 \text{ mol}}{25 \text{ L}} = 0,02 \text{ M} & Q_c &= \frac{(0,01)^2}{(0,02)(0,06)^3} = 23,26 \\ [\text{H}_2] &= \frac{1,5 \text{ mol}}{25 \text{ L}} = 0,06 \text{ M} \end{aligned}$$

Dengan membandingkan harga  $Q_c$  terhadap  $K_c$ , diketahui bahwa  $Q_c > K_c$  sehingga untuk mencapai kesetimbangan reaksi harus berlangsung ke arah kiri.

### b. Menentukan Konsentrasi Kesetimbangan

Dari harga tetapan kesetimbangan, kalian dapat menentukan konsentrasi reaktan atau produk pada keadaan kesetimbangan.

## 5. Pergeseran Kesetimbangan Kimia

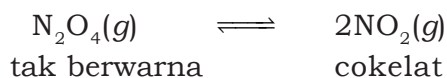
Pernahkah kalian bermain jungkat-jungkit? Jika pernah, kalian pasti lebih menyukai bermain dengan seseorang yang memiliki berat badan hampir sama agar seimbang, bukan? Kesetimbangan kimia dapat kalian bayangkan sebagai sebuah papan jungkat-jungkit seimbang dengan reaktan di satu sisi dan produk di sisi yang lain. Ketika terjadi perubahan pada salah satu sisi, maka kesetimbangan tersebut dapat terganggu. Lantas apa yang kemudian terjadi?

Seorang ahli kimia dari Prancis, *Henri Louis Le Chatelier* (1888) telah meninggalkan untuk kita satu azas umum untuk menganalisa apa yang terjadi jika kesetimbangan kimia terganggu. Azas ini kemudian dikenal sebagai *azas Le Chatelier*, yaitu jika sistem pada kesetimbangan diganggu dengan beberapa perubahan, sistem akan berubah sedemikian rupa untuk mengurangi pengaruh perubahan tersebut. Perubahan yang terjadi pada sistem kesetimbangan akan menyebabkan pergeseran keadaan kesetimbangan ke kanan (reaksi maju) atau ke kiri (reaksi balik). Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi posisi kesetimbangan antara lain konsentrasi reaktan atau produk, tekanan, volume, dan suhu. Bagaimana pengaruh faktor tersebut terhadap kesetimbangan kimia? Mari kita bahas satu per satu.

### a. Pengaruh Konsentrasi

Jika dalam sistem kesetimbangan ada penambahan konsentrasi salah satu komponen, maka kesetimbangan akan bergeser dari arah penambahan konsentrasi. Sebaliknya, jika konsentrasi salah satu komponen dikurangi, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah pengurangan itu.

Kita ambil contoh, sistem kesetimbangan antara gas  $N_2O_4$  dan  $NO_2$  yang terjadi menurut kesetimbangan berikut.



Jika pada sistem kesetimbangan tersebut terjadi perubahan konsentrasi reaktan atau produk, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan ke kanan atau kiri bergantung perubahan yang

dilakukan. Jika kita menambahkan konsentrasi  $N_2O_4$ , kesetimbangan akan bergeser ke kanan. Akibatnya konsentrasi  $NO_2$  meningkat sehingga warna campuran reaksi semakin coklat. Jika kita mengurangi konsentrasi  $N_2O_4$ , kesetimbangan akan bergeser ke kiri dan konsentrasi  $NO_2$  menurun sehingga warna coklat memudar.

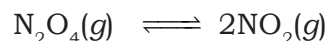
Sebaliknya, jika kita menambah konsentrasi  $NO_2$ , kesetimbangan bergeser ke kiri sehingga konsentrasi  $N_2O_4$  meningkat. Jika konsentrasi  $NO_2$  dikurangi, kesetimbangan akan bergeser ke kanan. Akibatnya konsentrasi  $N_2O_4$  menurun. Hasil-hasil ini sama persis sebagaimana telah diprediksi oleh azas Le Chatelier.

#### **b. Pengaruh Tekanan dan Volume**

Perubahan tekanan hanya mempengaruhi konsentrasi komponen pada sistem kesetimbangan gas. Sesuai hukum gas ideal  $PV = nRT$ , tekanan berbanding terbalik dengan volume. Semakin besar tekanan maka volume semakin kecil, demikian juga sebaliknya. Tekanan berbanding lurus dengan jumlah mol. Perbandingan jumlah mol dan volume ( $n/V$ ) merupakan konsentrasi gas dalam mol per liter, sehingga dapat juga dikatakan bahwa tekanan berbanding lurus dengan konsentrasi. Jadi, penambahan tekanan (penurunan volume) akan menaikkan konsentrasi gas-gas yang bereaksi.

Menurut azas Le Chatelier, menaikkan tekanan (menurunkan volume) akan menggeser reaksi ke arah yang mengurangi tekanan. Jadi, penambahan tekanan akan menyebabkan pergeseran kesetimbangan ke arah jumlah mol yang lebih sedikit. Sebaliknya, pengurangan tekanan (penambahan volume) akan menggeser kesetimbangan ke arah jumlah mol yang lebih banyak.

Untuk lebih jelasnya, kalian tinjau kembali sistem kesetimbangan gas  $N_2O_4$  dan  $NO_2$ .



Pada reaksi kesetimbangan tersebut, 1 mol  $N_2O_4$  bereaksi menghasilkan 2 mol  $NO_2$ . Jika ada penambahan tekanan maka kesetimbangan akan bergeser ke arah jumlah mol yang lebih sedikit, yaitu ke kiri. Sebaliknya, jika tekanan diturunkan, maka kesetimbangan bergeser ke arah jumlah mol yang lebih banyak, yaitu ke kanan. Untuk reaksi yang tidak menghasilkan perubahan jumlah mol (jumlah mol reaktan dan produk sama besar), perubahan tekanan (atau volume) tidak mempengaruhi pergeseran kesetimbangan.



### c. Pengaruh Suhu

Menurut azas Le Chatelier, jika pada sistem kesetimbangan ada peningkatan suhu, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah yang menyerap kalor (reaksi endoterm). Sebaliknya, jika suhu diturunkan, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah yang melepaskan kalor (reaksi eksoterm). Sebagai contoh, sistem kesetimbangan pada pembentukan gas  $\text{CH}_4$  dari gas  $\text{CO}$  dan  $\text{H}_2$  berikut.



Reaksi pembentukan  $\text{CH}_4$  disebut juga sebagai **reaksi metanasi**. Harga perubahan entalpi bertanda negatif yang menunjukkan bahwa reaksi bersifat eksotermis. Ketika produk terbentuk dilepaskan kalor sebesar 206,2 kJ. Reaksi kebalikannya merupakan reaksi endoterm. Jika pada sistem kesetimbangan ini terjadi kenaikan suhu maka reaksi bergeser ke kiri (arah reaksi endotermis), sedangkan pada penurunan suhu kesetimbangan bergeser ke kanan (arah reaksi eksotermis).

Sebelumnya, kita telah membahas pengaruh perubahan konsentrasi, tekanan, atau volume pada sistem kesetimbangan. Berdasarkan percobaan, perubahan ketiga faktor tersebut hanya mengubah posisi kesetimbangan, tetapi tidak mengubah nilai tetapan kesetimbangan. Nilai tetapan kesetimbangan hanya dipengaruhi oleh perubahan suhu. Jadi, pada kesetimbangan pembentukan metana jika suhu dinaikkan, maka kesetimbangan bergeser ke arah sebaliknya dan meningkatkan konsentrasi reaktan. Akibatnya, nilai tetapan kesetimbangan yaitu:

$$K_c = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]}$$

semakin menurun dengan adanya kenaikan suhu. Hal tersebut dapat kalian lihat pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4.2 Tetapan Kesetimbangan Reaksi Metanasi pada Variasi Suhu**

Suhu (K)	$K_c$
298	$4,9 \times 10^{27}$
800	$1,38 \times 10^5$
1000	$2,54 \times 10^2$
1200	3,92

Sumber: General Chemistry

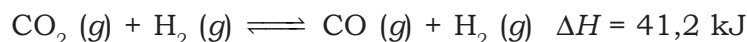
#### d. Pengaruh Katalisator

Seperti telah dijelaskan pada bab III, penambahan katalisator pada sistem kimia dapat mempercepat laju reaksi. Katalisator berfungsi mempercepat tercapainya kesetimbangan, dengan cara mempercepat reaksi maju dan reaksi balik sama besar. Katalisator hanya mampu mempercepat reaksi, tetapi tidak dapat membuat reaksi. Jadi, keberadaan katalisator tidak akan mengubah tetapan kesetimbangan dan juga tidak menyebabkan pergeseran kesetimbangan. Penambahan katalisator hanya mempercepat laju reaksi maju dan balik, sehingga kesetimbangan tercapai lebih cepat. Keadaan kesetimbangan tetap dapat diperoleh tanpa adanya katalisator tetapi kalian mungkin harus menunggu lama untuk mencapai kesetimbangan.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** dan **personal** kalian, kerjakanlah Latihan 4.2 berikut.

#### Latihan 4.2

1. Ditentukan kesetimbangan:



- a. Ke arah mana kesetimbangan akan bergeser jika pada suhu dan volume tetap ditambah gas hidrogen? Bagaimana pengaruhnya terhadap konsentrasi  $\text{CO}_2$ ?
  - b. Ke arah mana kesetimbangan akan bergeser jika pada suhu dan volume tetap dikurangi uap air? Bagaimana pengaruhnya terhadap konsentrasi  $\text{CO}$ ?
  - c. Ke arah mana kesetimbangan akan bergeser, jika pada suhu tetap tekanan diperbesar dengan memperkecil volume? Apakah konsentrasi  $\text{CO}$  menjadi lebih besar atau lebih kecil, atautkah tetap pada perubahan ini?
  - d. Ke arah mana kesetimbangan akan bergeser, jika pada volume tetap suhu dinaikkan dan bagaimana pengaruhnya terhadap konsentrasi  $\text{H}_2$ ?
2. Pada suhu  $30^\circ\text{C}$  0,5 mol gas  $\text{PCl}_5$  dibiarkan terurai menurut reaksi:



Jika tetapan gas  $R = 0,082$ , tekanan total gas pada keadaan setimbang adalah  $2,4 \text{ atm}$  dan derajat disosiasi  $70\%$ , maka tentukanlah:

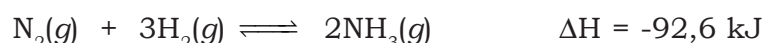
- Tekanan parsial masing-masing gas pada keadaan setimbang?
- Harga  $K_p$  dan  $K_c$ !

### C. Kesetimbangan dalam Industri

Azas Le Chatelier sangat penting untuk diterapkan dalam proses industri kimia. Hal itu dikarenakan banyak proses industri yang melibatkan reaksi kesetimbangan. Untuk mendapatkan produk yang seoptimal mungkin dengan biaya produksi seminimal mungkin, kondisi reaksi harus diatur sedemikian rupa sehingga kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan produk. Industri kimia yang penting di antaranya adalah industri amonia dan asam sulfat. Bagaimanakah proses pembuatan kedua bahan kimia tersebut? Pembuatan kedua bahan kimia ini juga melibatkan kesetimbangan. Nah, pada bagian ini akan kita bahas bagaimana azas Le Chatelier diterapkan pada proses pembuatan amonia dan asam sulfat.

#### 1. Pembuatan Amonia dengan Proses Haber-Bosch

Metode pembuatan amonia secara langsung dari gas nitrogen dan hidrogen dikembangkan pertama kali oleh Fritz Haber (1912), seorang ahli kimia dari Jerman. Reaksi yang terjadi sebagai berikut.



Proses pembuatan amonia ini dikembangkan oleh **Karl Bosch**, seorang insinyur yang mengembangkan peralatan untuk memproduksi amonia secara industri, yang harus dilakukan pada suhu  $500^\circ\text{C}$  dan tekanan  $500 \text{ atm}$ . Oleh karena itu, proses pembuatan amonia kemudian dikenal sebagai proses **Haber-Bosch**.

Proses pembuatan amonia merupakan reaksi bolak-balik. Keberhasilan Haber dalam membuat amonia didasarkan pada pengetahuannya tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kesetimbangan gas dan pemilihan katalisator yang sesuai. Dari harga perubahan entalpi diketahui bahwa reaksi bersifat eksoterm. Jika suhu dinaikkan, kesetimbangan bergeser ke kiri dan akan mengurangi produk reaksi. Agar kesetimbangan bergeser ke kanan (produk optimal), reaksi  $O_2$  dilakukan pada tekanan yang sangat tinggi (500 atm) dan suhu rendah. Namun pada suhu rendah, reaksi berjalan lambat. Ternyata proses reaksi dilakukan pada suhu  $500^\circ C$  dengan adanya katalisator besi dan oksida aluminium atau kalium untuk meningkatkan laju pembentukan amonia sehingga dapat diperoleh amonia dalam jumlah optimal.

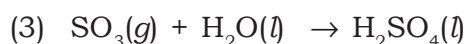
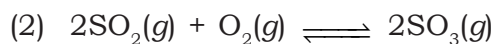
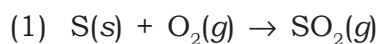
### Fokus Kimia

Menumbuhkan semangat kewirausahaan

Amonia merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan berbagai macam bahan industri mulai dari pupuk, asam nitrat sampai bahan peledak. Bahan kimia ini dibuat dari senyawa nitrogen. Sumber utama senyawa nitrogen di alam adalah natrium nitrat ( $NaNO_3$ ). Pada awal tahun 1900-an terjadi kekurangan pasokan senyawa nitrogen, yang pada saat itu digunakan sebagai pupuk dan bahan peledak. Hal itu menarik perhatian para ahli kimia untuk mengubah nitrogen di atmosfer (reaksinya dikenal sebagai fiksasi nitrogen) menjadi senyawa amonia.

## 2. Pembuatan Asam Sulfat dengan Proses Kontak

Asam sulfat merupakan bahan kimia yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk. Pembuatan asam sulfat secara industri dilakukan melalui proses kontak. Bahan utama pembuatan asam sulfat menurut proses kontak adalah belerang murni (S) atau senyawa belerang. Pembakaran belerang menghasilkan belerang dioksida ( $SO_2$ ). Belerang dioksida mengalami oksidasi menghasilkan belerang trioksida ( $SO_3$ ) yang kemudian direaksikan dengan air menghasilkan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Ketiga tahap reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Pada proses pembuatan asam sulfat, tahap yang paling menentukan pembentukan produk reaksi adalah tahap kedua yang merupakan reaksi kesetimbangan, yaitu tahap oksidasi  $SO_2$  menjadi  $SO_3$ . Kondisi reaksi tahap kedua harus diatur sedemikian rupa sehingga pembentukan  $SO_3$  berlangsung optimal.

Dengan demikian, asam sulfat yang dihasilkan juga dapat optimal. Reaksi tahap kedua bersifat eksotermis sehingga untuk menggeser kesetimbangan ke kanan suhu diturunkan. Seperti halnya pada pembuatan amonia, reaksi berjalan lambat pada suhu rendah. Ternyata, proses pembuatan asam sulfat juga harus dilakukan pada suhu yang tinggi sekitar  $400^{\circ}\text{C}$  dengan adanya katalisator divanadium pentaoksida ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ). Pada kondisi ini dapat dihasilkan asam sulfat dalam jumlah optimal.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan sosial** dan **semangat kewirausahaan** kalian, kerjakanlah tugas berikut.

### Tugas

Diskusikan dengan teman-teman kalian tentang hal-hal berikut.

1. Dalam industri, mengapa reaksi kesetimbangan sangat dihindari?
2. Bagaimana pengaruh pemberian katalis terhadap reaksi kesetimbangan dalam suatu industri?

### Rangkuman

1. Reaksi kimia ada yang bersifat tidak dapat balik (*irreversible*) dan dapat balik (*reversible*).
2. Kesetimbangan kimia adalah keadaan di mana reaksi dapat balik berlangsung dengan laju reaksi maju dan reaksi balik yang sama. Kesetimbangan hanya dapat dicapai dalam sistem tertutup.
3. Berdasarkan fase reaktan dan produk, kesetimbangan dibedakan menjadi:
  - a. Kesetimbangan homogen, jika reaktan dan produk berada dalam fase yang sama.
  - b. Kesetimbangan heterogen, jika reaktan dan produk berada dalam fase yang berbeda.
4. Hubungan kuantitatif reaktan dan produk pada kesetimbangan dinyatakan dalam dua cara:
  - a. Tetapan kesetimbangan ( $K_c$ ) adalah perbandingan konsentrasi (dalam mol per liter) produk terhadap reaktan, masing-masing dipangkatkan dengan koefisien reaksinya.











## Evaluasi Semester I

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

- Unsur dengan konfigurasi elektron  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^8 5s^2$   
Terletak pada . . . .
  - periode ke 5, golongan VIII B
  - periode ke 5, golongan II B
  - periode ke 5, golongan II A
  - periode ke 4, golongan II A
  - periode ke 4, golongan VIII A
- Bentuk molekul  $\text{NH}_3$  adalah . . . .
  - tetrahedral
  - segitiga piramida
  - bengkok
  - segitiga bipiramida
  - segitiga datar
- Nomor atom unsur X sama dengan 27. Jumlah elektron tidak berpasangan dalam ion  $\text{X}^{2+}$  adalah . . . .
  - 1
  - 2
  - 3
  - 5
  - 7
- Diketahui:  
 $\text{H}_2 (g) + \frac{1}{2} \text{O}_2 (g) \rightarrow \text{H}_2\text{O} (l) \quad \Delta H = -286 \text{ kJ/mol}$   
 $\text{H}_2 (g) + \frac{1}{2} \text{O}_2 (g) \rightarrow \text{H}_2\text{O} (g) \quad \Delta H = -242 \text{ kJ/mol}$   
Penguapan 5,4 gram air ( $A_r$ , H=1, O=16) dari tubuh kita berlangsung melalui . . . .
  - penyerapan 44,0 kJ
  - pembebasan 44,0 kJ
  - penyerapan 13,2 kJ
  - pembebasan 13,2 kJ
  - penyerapan 528,0 kJ

5. Diketahui energi ikatan rata-rata dari:

$$C = C = 607 \text{ kJ/mol}$$

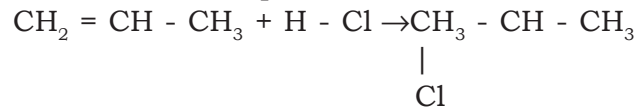
$$C - C = 343 \text{ kJ/mol}$$

$$C - H = 410 \text{ kJ/mol}$$

$$C - Cl = 328 \text{ kJ/mol}$$

$$H - Cl = 431 \text{ kJ/mol}$$

Perubahan entalpi dari reaksi:



Adalah . . . .

A. +710 kJ/mol

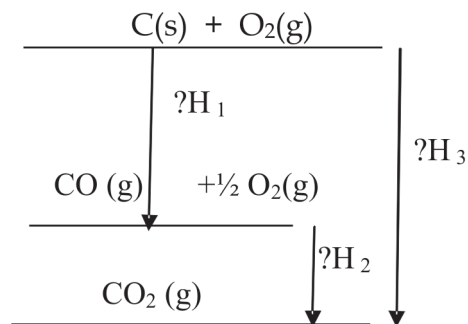
B. +373 kJ/mol

C. +43 kJ/mol

D. -43 kJ/mol

E. -86 kJ/mol

6. Perhatikan diagram tingkat energi berikut ini!



Berdasarkan diagram di atas, hubungan antara  $\Delta H_1$ ,  $\Delta H_2$ , dan  $\Delta H_3$  yang benar adalah . . . .

A.  $\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3$

B.  $\Delta H_2 = \Delta H_3 + \Delta H_1$

C.  $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$

D.  $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$

E.  $\Delta H_3 = \Delta H_2 - \Delta H_1$

7.  $I_2(g) + 3Cl_2(g) \rightarrow 2ICl_3(s)$   $\Delta H = -214 \text{ kJ/mol}$   
 $I_2(s) \rightarrow I_2(g)$   $\Delta H = +38 \text{ kJ/mol}$   
 Perubahan entalpi standar pembentukan iodtriklorida  $ICl_3$  adalah . . . .
- A. +176 kJ/mol  
 B. +138 kJ/mol  
 C. -88 kJ/mol  
 D. -138 kJ/mol  
 E. -214 kJ/mol
8. Suatu reaksi  $A \rightarrow B$  berlangsung dalam waktu 30 detik. Bila konsentrasi A dinaikkan dua kali, waktu reaksi menjadi 7,5 detik. Orde reaksi tersebut sama dengan . . . .
- A. 0  
 B. 1  
 C. 2  
 D. 3  
 E. 4
9. Pada reaksi:  $2H_2(aq) + 2NO(g) \rightarrow 2H_2O(g) + N_2(g)$  hasil eksperimen menyatakan bahwa kecepatan reaksinya  $v = k [H_2][NO]^2$  dan  $k = 1 \times 10^{-6}$ . Bila 4 mol dan 2 mol NO direaksikan dalam bejana yang volumenya 2 liter, kecepatan awal reaksi adalah . . . .
- A.  $1,6 \times 10^{-5}$   
 B.  $6,4 \times 10^{-5}$   
 C.  $4,0 \times 10^{-6}$   
 D.  $3,0 \times 10^{-6}$   
 E.  $2,0 \times 10^{-6}$
10. Data percobaan reaksi  $2A + B_2 \rightarrow 2AB$  adalah sebagai berikut.

Perc.	[A] (mol/L)	[B <sub>2</sub> ] (mol/L)	Kecepatan Reaksi (mol/L.detik)
1	0,50	0,50	$1,6 \times 10^{-4}$
2	0,50	1,00	$3,2 \times 10^{-4}$
3	1,00	1,00	$3,2 \times 10^{-4}$

Orde reaksi adalah . . . .

- A. 0  
 B. 1  
 C. 2  
 D. 3  
 E. 4

11. Suatu reaksi berlangsung pada suhu 20°C. Bila pada setiap kenaikan 10°C tetapan kecepatannya meningkat 2 kali, maka kecepatan reaksi pada suhu 60°C dibandingkan dengan 20°C akan meningkat sebanyak . . . .
- 2 kali
  - 8 kali
  - 16 kali
  - 32 kali
  - 64 kali
12. Dalam suatu wadah tertutup, amonium klorida dipanaskan pada suhu 200°C dan terjadi disosiasi,  $\text{NH}_4\text{Cl}(s) \rightleftharpoons \text{NH}_3(g) + \text{HCl}(g)$ . Jika pada suhu tersebut  $K_p = a$  (tekanan dalam atm), maka tekanan total dalam wadah (dalam atm) adalah . . . .
- $2a$
  - $\sqrt{a}$
  - $a^2$
  - $a$
  - $2\sqrt{a}$
13. Pada reaksi kesetimbangan  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$ , konsentrasi mula-mula A dan B masing-masing 1 mol/liter. Jika dalam kesetimbangan konsentrasi A = 0,6 mol/liter, maka tetapan kesetimbangan reaksi tersebut adalah . . . .
- 2,25
  - 1,25
  - 0,88
  - 0,63
  - 0,44
14. Jika satu mol AB dalam 1 liter larutan terurai sebanyak 40% menurut reaksi  $\text{AB} \rightleftharpoons \text{A} + \text{B}$ , maka tetapan kesetimbangan reaksi tersebut adalah . . . .
- 0,27
  - 0,09
  - 0,07
  - 0,0009
  - 0,00027

15. Tetapan kesetimbangan reaksi:  $\text{BaO}_2(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{BaO}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g})$ ,  
diberikan oleh . . . .

- A.  $K = \frac{[\text{BaO}_2]^2}{[\text{BaO}]^2}$
- B.  $K = \frac{[\text{BaO}_2]^2}{[\text{BaO}]^2[\text{O}_2]}$
- C.  $K = \frac{[\text{BaO}]^2}{[\text{BaO}_2]^2}$
- D.  $K = \frac{[\text{BaO}]^2[\text{O}_2]}{[\text{BaO}_2]^2}$
- E.  $K = [\text{O}_2]$

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!**

- Tuliskan keempat bilangan kuantum untuk elektron terakhir pada atom:
  - ${}_{11}\text{Na}$
  - ${}_{20}\text{Ca}$
  - ${}_{31}\text{Ga}$
  - ${}_{26}\text{Fe}$
- Sebanyak 7,5 gram kristal LiOH ditambahkan ke dalam kalorimeter yang berisi 120 gram air. Setelah kristal LiOH itu larut, ternyata suhu kalorimeter beserta isinya naik dari 23,25°C menjadi 34,9°C. Tentukan entalpi pelarutan LiOH dalam air!
- Diketahui energi ikat rata-rata dari:  
C=O = 243 kJ/mol  
H-O = 432 kJ/mol  
O=O = 335 kJ/mol  
Hitunglah energi ikatan rata-rata C-H dari reaksi berikut!  
 $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_c^\circ = -109 \text{ kJ}$

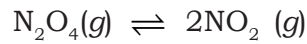
4. Dari hasil percobaan diperoleh data sebagai berikut.

<b>[BrO<sub>3</sub>] Awal (mol/L)</b>	<b>[Br] Awal (mol/L)</b>	<b>[H<sup>+</sup>] Awal (mol/L)</b>	<b>Waktu Reaksi Awal (detik)</b>
0,4	0,25	0,01	152+6
0,8	0,24	0,01	73+4
0,4	0,48	0,01	75+3
0,8	0,24	0,02	19+4

Hitunglah kecepatan reaksi untuk reaksi di bawah ini!



5. Pada temperatur tertentu  $\text{N}_2\text{O}_4 (g)$  terurai menurut reaksi:



Jika pada keadaan setimbang mol  $\text{N}_2\text{O}_4$  sama dengan mol  $\text{NO}_2$ , berapakah derajat disosiasi  $\text{N}_2\text{O}_4$ ?

# Bab V

## Larutan Asam dan Basa

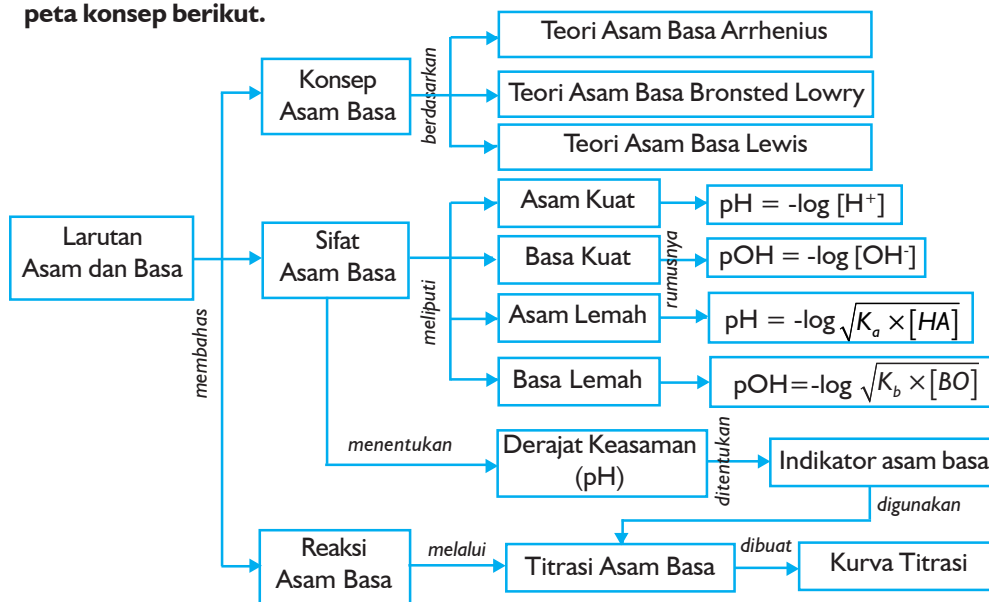
Sumber gambar: General Chemistry

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mendeskripsikan teori-teori asam basa dengan menghitung pH larutan, banyaknya reaksi dan hasil reaksi pada titrasi asam basa, serta menerapkan kurva perubahan harga pH titrasi untuk menjelaskan larutan penyangga dan hidrolisis.

### Peta Konsep

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut, perhatikanlah peta konsep berikut.



### Kata Kunci

Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini. Berikut ini adalah kata kunci dalam bab V.

Asam kuat	Basa kuat	Titrasi asam-basa	Asam Bronsted	Indikator
Asam lemah	Basa lemah	Titik akhir	Asam Lewis	pH





Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

**Gambar 5.1** Jeruk lemon berasa masam karena adanya asam sitrat

Dalam kehidupan sehari-hari, kalian tentu sering menjumpai zat-zat yang mengandung asam maupun basa. Ketika kalian makan buah jeruk, apel, acar mentimun atau tablet vitamin C, kalian tentu merasakan masam, bukan? Sebaliknya, ketika kalian secara tak sengaja menelan busa sabun atau soda kue, lidah kalian akan terasa pahit. Apakah yang menyebabkan rasa masam dan pahit tersebut?

Asam dan basa memiliki peranan penting dalam kehidupan kita. Proses pencernaan makanan di dalam lambung dibantu oleh adanya asam klorida.

Salah satu vitamin yang penting untuk tubuh, yaitu vitamin C mengandung asam askorbat. Cuka yang digunakan dalam pembuatan acar mengandung asam asetat. Rasa masam pada buah-buahan disebabkan oleh adanya asam sitrat. Aspirin mengandung asam asetilsalisilat. Dalam sabun dan detergen terdapat campuran beberapa basa. Obat maag mengandung magnesium hidroksida atau aluminium hidroksida. Dalam cairan pembersih kaca terdapat ammonia. Kalian tentu dapat menyebutkan zat-zat lain yang mengandung asam maupun basa.

Masih ingatkah kalian dengan pengertian asam dan basa yang kalian pelajari sewaktu di SMP? Apakah yang membedakan sifat asam dengan basa? Apa jadinya jika asam bertemu dengan basa? Bagaimana jika asam atau basa bereaksi dengan air?

Pada bab ini, kalian akan diajak berkenalan lebih jauh dengan asam dan basa, bagaimana kekuatan mereka serta reaksi mereka dalam larutan.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan personal** kalian, kerjakanlah tugas berikut.

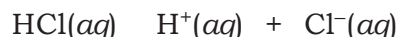
### Tugas

Perhatikan zat-zat yang berada di sekitar kalian! Coba datalah zat-zat tersebut yang termasuk asam dan basa, masing-masing minimal 15 macam zat! Berikan alasan mengapa zat tersebut termasuk asam atau basa!

## A. Konsep Asam Basa

### 1. Teori Asam Basa Arrhenius

Ahli kimia Swedia, **Svante Arrhenius** (1884) mendefinisikan **asam** sebagai senyawa yang menghasilkan ion hidrogen ( $H^+$ ) jika dilarutkan dalam air. Beberapa senyawa yang bukan asam akan menunjukkan sifat asam jika sudah dilarutkan ke dalam air. Salah satu contohnya adalah gas hidrogen klorida. Jika gas HCl dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion hidrogen ( $H^+$ ) sehingga larutan HCl yang terbentuk dikatakan bersifat asam. Reaksi yang terjadi dalam larutan HCl sebagai berikut.



Asam klorida dikenal juga sebagai asam lambung karena keberadaannya di dalam lambung sebagai getah pencernaan. Ion hidrogen ( $H^+$ ) yang dihasilkan dari reaksi HCl dengan air sebenarnya berada dalam bentuk terhidrasi, yaitu terikat pada molekul-molekul air ( $H_2O$ ). Ion ini disebut sebagai ion hidronium ( $H_3O^+$ ). Dalam

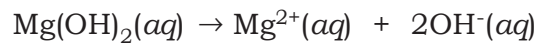


Sumber: [www.corrosiondoctor.org](http://www.corrosiondoctor.org)

**Gambar 5.2** Svante Arrhenius

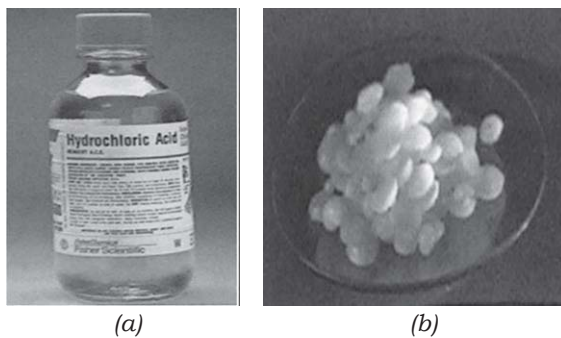
pembahasan di sini kalian cukup menyingkatnya sebagai ion hidrogen. Tetapi kalian harus ingat bahwa kedua istilah ini sama saja.

**Basa** oleh Arrhenius didefinisikan sebagai senyawa yang menghasilkan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) jika dilarutkan dalam air. Pada umumnya, senyawa yang disebut sebagai basa merupakan senyawa ionik yang mengandung gugus hidroksida. Misalnya magnesium hidroksida,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  yang terdapat dalam obat maag. Jika  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  seperti persamaan berikut.



Ada pula senyawa yang bersifat basa meskipun bukan senyawa ion dan tidak mengandung ion hidroksida. Sebagai contoh adalah ammonia ( $\text{NH}_3$ ). Senyawa ini jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion hidroksida sehingga termasuk senyawa basa. Larutan ammonia dalam air biasa disebut ammonium hidroksida, meskipun sebenarnya senyawa tersebut tidak ada.

Larutan asam dan basa merupakan larutan elektrolit. Di dalam air, mereka akan terionisasi (terurai) menjadi ion-ionnya sehingga asam dan basa dalam larutannya dapat menghantarkan arus listrik. Sifat elektrolit asam maupun basa berbeda-beda bergantung dari kemampuan ionisasinya. Berdasarkan kemampuan ionisasinya dalam larutan, asam dapat dibedakan menjadi asam kuat dan asam lemah. Demikian pula basa, dapat dibedakan menjadi basa kuat dan basa lemah. **Asam kuat** dan **basa kuat** adalah asam dan basa yang mengalami ionisasi sempurna di dalam larutannya. Artinya, jika asam kuat atau basa kuat dilarutkan dalam air, maka mereka akan terurai semua menjadi ion-ionnya. Asam kuat yang telah dikenal adalah  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ , dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Beberapa contoh basa kuat adalah  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ , dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .



**Sumber:** *Chemistry: Concept & Connection 3<sup>rd</sup> ed.*

**Gambar 5.3** Asam klorida merupakan asam kuat (a) natrium hidroksida merupakan basa kuat (b)

Sebaliknya, **asam lemah** maupun **basa lemah** hanya terionisasi sebagian di dalam larutannya. Reaksi ionisasi asam lemah dan basa lemah merupakan reaksi kesetimbangan. Jadi, jika asam lemah maupun basa lemah dilarutkan dalam air, hanya sebagian yang terurai menjadi ion-ionnya. Sebagian lagi kembali membentuk molekul netral. Contoh asam lemah adalah  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Contoh basa lemah adalah  $\text{NH}_3$ .

**Tabel 5.1 Beberapa Jenis Asam dan Basa serta Reaksi Ionisasinya**

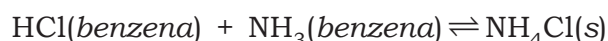
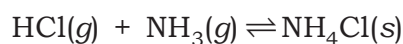
Nama Senyawa	Rumus Kimia	Reaksi Ionisasi
Asam nitrat	$\text{HNO}_3$	$\text{HNO}_3(aq) \rightarrow \text{H}^+(aq) + \text{NO}_3^-(aq)$
Asam asetat	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{CH}_3\text{COOH}(aq) \rightleftharpoons \text{H}^+(aq) + \text{CH}_3\text{COO}^-(aq)$
Asam karbonat	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{CO}_3(aq) \rightleftharpoons 2\text{H}^+(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$
Asam sulfat	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{SO}_4(aq) \rightarrow 2\text{H}^+(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$
Asam fosfat	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{H}_3\text{PO}_4(aq) \rightleftharpoons 3\text{H}^+(aq) + \text{PO}_4^{3-}(aq)$
Natrium hidroksida	$\text{NaOH}$	$\text{NaOH}(aq) \rightarrow \text{Na}^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$
Kalium hidroksida	$\text{KOH}$	$\text{KOH}(aq) \rightarrow \text{K}^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$
Magnesium hidroksida	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}(\text{OH})_2(aq) \rightarrow \text{Mg}^{2+}(aq) + 2\text{OH}^-(aq)$
Kalsium hidroksida	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{Ca}(\text{OH})_2(aq) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(aq) + 2\text{OH}^-(aq)$
Amonia	$\text{NH}_3$	$\text{NH}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(aq) \rightarrow \text{NH}_4^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$

**Sumber:** Kimia Universitas Azas dan Struktur Jilid 1

Coba kalian perhatikan reaksi ionisasi dari beberapa asam pada Tabel 5.1. Beberapa molekul asam dapat menghasilkan lebih dari satu ion hidrogen. Asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) dan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) menghasilkan dua ion hidrogen tiap molekulnya. Asam-asam seperti ini disebut **asam diprotik**. Asam fosfat bahkan menghasilkan tiga ion hidrogen sehingga dikenal sebagai **asam triprotik**. Kedua jenis asam ini digolongkan ke dalam asam poliprotik. Kebanyakan asam hanya menghasilkan satu ion hidrogen atau disebut juga **asam monoprotik**, misalnya  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

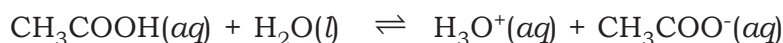
## 2. Teori Asam Basa Bronsted-Lowry

Teori asam basa yang dikemukakan oleh Arrhenius dibatasi untuk larutan dalam air. Ternyata ada banyak reaksi yang menunjukkan sifat reaksi asam basa meskipun tidak dilarutkan dalam air atau bahkan tanpa pelarut sama sekali. Sebagai contoh reaksi antara gas  $\text{HCl}$  dan gas  $\text{NH}_3$  yang menghasilkan kristal ammonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dan juga reaksi antara  $\text{HCl}$  dan  $\text{NH}_3$  yang dilarutkan dalam benzena.

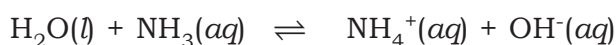


Pada kedua reaksi tersebut, proton diberikan oleh HCl (suatu asam) ke molekul NH<sub>3</sub> (suatu basa). Berdasarkan fakta tersebut, ahli kimia Denmark **J.N. Bronsted** dan ahli kimia Inggris **T.M. Lowry** (1923) secara terpisah memberikan definisi baru tentang asam dan basa yang berkaitan dengan transfer proton. Definisi ini selanjutnya dikenal sebagai teori asam basa Bronsted-Lowry. Menurut Bronsted-Lowry, **asam** adalah molekul atau ion yang memberikan proton (donor proton), yaitu ion H<sup>+</sup>. **Basa** adalah molekul atau ion yang menerima proton (akseptor proton).

Jadi, dalam teori asam basa Bronsted-Lowry, ion hidrogen (proton) dipindahkan dari asam ke basa. Asam dan basa saling membentuk pasangan dengan kation atau anion yang dihasilkannya, dan dikatakan sebagai pasangan asam basa konjugasi. Semakin kuat suatu asam, semakin lemah basa konjugasinya, demikian pula sebaliknya. Jadi, asam kuat memiliki basa konjugat yang lemah, dan sebaliknya. Untuk lebih jelasnya, kalian perhatikan dua contoh berikut.



asam 1                      basa 2              asam 2              basa 1



asam 1    basa 2                      asam 2              basa 1

Pada reaksi antara CH<sub>3</sub>COOH dengan H<sub>2</sub>O, ion hidrogen (proton) dipindahkan dari CH<sub>3</sub>COOH ke H<sub>2</sub>O membentuk H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> dan CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>. Dalam reaksi tersebut, CH<sub>3</sub>COOH adalah suatu asam karena memberikan proton pada H<sub>2</sub>O, sedangkan H<sub>2</sub>O yang menerima proton adalah suatu basa. Demikian pula dalam reaksi kebalikannya, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> adalah suatu asam sedangkan CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> adalah suatu basa. Asam dan basa tersebut saling membentuk pasangan asam basa konjugasi. CH<sub>3</sub>COOH adalah asam konjugat dari CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>, sebaliknya CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> adalah basa konjugat dari CH<sub>3</sub>COOH. Sama halnya, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> adalah asam konjugat dari H<sub>2</sub>O, dan sebaliknya H<sub>2</sub>O adalah basa konjugat dari H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. Pada reaksi antara H<sub>2</sub>O dengan NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O adalah suatu asam karena memberikan proton pada NH<sub>3</sub> sedangkan NH<sub>3</sub> sebagai penerima proton adalah suatu basa. Pada reaksi kebalikannya, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adalah asam dan OH<sup>-</sup> adalah basanya. Asam dan basa tersebut juga saling membentuk pasangan asam basa konjugasi dengan cara yang sama seperti pada contoh sebelumnya.

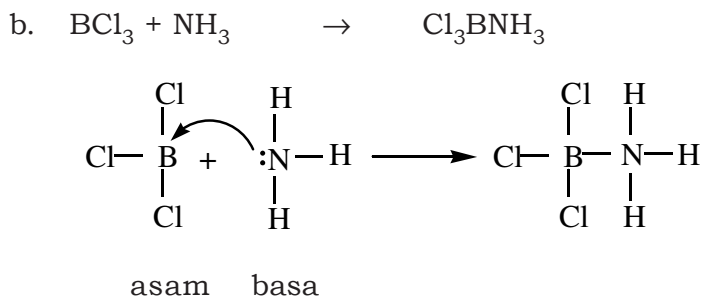
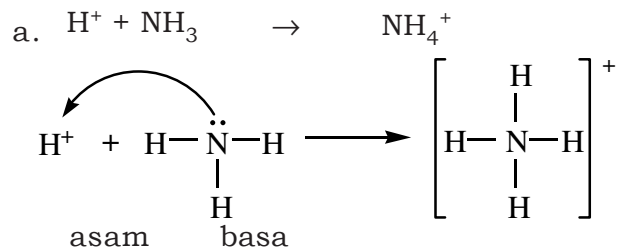
Jika kalian perhatikan kedua contoh reaksi tersebut, H<sub>2</sub>O pada reaksi pertama bertindak sebagai basa dengan menerima proton dari molekul CH<sub>3</sub>COOH. Sebaliknya pada reaksi kedua, H<sub>2</sub>O bertindak sebagai asam dengan memberikan ion hidrogen kepada molekul NH<sub>3</sub>. Beberapa molekul atau ion yang dapat bertindak sebagai asam maupun basa, seperti H<sub>2</sub>O ini dikenal sebagai senyawa amfoter (amfiprotik).

### 3. Teori Asam Basa Lewis

Dalam teori asam basa Bronsted-Lowry melibatkan adanya transfer proton dari asam ke basa. Padahal ada reaksi-reaksi tertentu yang tidak melibatkan transfer proton, misalnya reaksi antara BCl<sub>3</sub> dan NH<sub>3</sub>. Untuk mengatasi keterbatasan teori Bronsted-Lowry, ahli kimia Amerika bernama **Gilbert N. Lewis** (1923) mengemukakan teori asam basa yang lebih luas. Menurut Lewis, **asam** adalah senyawa yang dapat menerima pasangan elektron. Sebaliknya, **basa** adalah senyawa yang dapat memberikan pasangan elektron.

Pada dasarnya, definisi asam basa yang dikemukakan oleh Lewis sama dengan definisi Bronsted-Lowry karena suatu zat yang memberikan proton dapat dipandang sebagai penerima pasangan elektron. Sebaliknya, suatu zat yang menerima proton dapat dipandang sebagai pemberi pasangan elektron. Teori asam basa Lewis dapat digunakan untuk menjelaskan reaksi-reaksi dari senyawa yang tidak memiliki ion hidrogen maupun ion hidroksida.

#### Contoh:



Pada contoh reaksi antara  $H^+$  dengan  $NH_3$ ,  $NH_3$  memberikan pasangan elektron pada  $H^+$  sehingga  $NH_3$  merupakan basa Lewis. Ion  $H^+$  yang menerima pasangan elektron dari  $NH_3$  disebut sebagai asam Lewis. Demikian juga pada reaksi antara  $BCl_3$  dan  $NH_3$ .  $NH_3$  sebagai basa Lewis memberikan pasangan elektron pada  $BCl_3$ , suatu asam Lewis. Ikatan yang terbentuk antara  $BCl_3$  dan  $NH_3$  merupakan ikatan kovalen koordinasi, di mana pasangan elektron yang digunakan untuk membentuk ikatan hanya berasal dari  $NH_3$ . Dari definisi ini, setiap atom atau molekul yang memberikan pasangan elektron dapat bertindak sebagai basa, sedangkan setiap atom atau molekul yang menerima pasangan elektron dapat bertindak sebagai asam. Jadi, kalian dapat dengan mudah menentukan yang mana asam atau basa dari reaksi apapun.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** kalian, kerjakanlah Latihan 5.1 berikut.

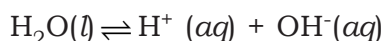
### Latihan 5.1

1. Apakah keunggulan teori asam basa Bronsted-lowry dibanding teori asam basa Arrhenius?
2. Sebutkan asam konjugasi dari:
  - a.  $NH_3$
  - b.  $H_2O$
  - c.  $HPO_4^{2-}$
  - d.  $HCO_3^-$
  - e.  $CN^-$
3. Sebutkan basa terkonjugasi dari:
  - a.  $H_2CO_3$
  - b.  $NH_3$
  - c.  $H_2O$
  - d.  $H_2F^+$
  - e.  $HPO_4^{2-}$

## B. Sifat Asam dan Basa

### 1. Ionisasi dalam Air

Air murni umumnya dianggap sebagai larutan nonelektrolit. Artinya, di dalam air murni tidak terdapat ion-ion yang dapat menghantarkan arus listrik. Tetapi dari hasil pengukuran alat uji elektrolit yang tepat, air murni menunjukkan sifat elektrolit meskipun sangat lemah. Hal itu berarti sebagian kecil molekul air dapat terion menurut persamaan berikut.



Reaksi ionisasi air merupakan reaksi kesetimbangan. Berdasarkan hukum kesetimbangan, maka harga tetapan kesetimbangan dari reaksi ionisasi air adalah:

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

Konsentrasi dari ion-ion yang dihasilkan pada ionisasi air sangat sedikit. Akibatnya konsentrasi  $\text{H}_2\text{O}$  dianggap tidak berubah (tetap) sehingga hasil kali  $K [\text{H}_2\text{O}]$  akan memberikan harga yang tetap dan dilambangkan dengan  $K_w$  (tetapan kesetimbangan air).

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$$

Berdasarkan hasil pengukuran, harga  $K_w$  bervariasi pada suhu yang berbeda. Semakin tinggi suhu pengukuran, harga  $K_w$  semakin besar. Pada suhu  $25^\circ\text{C}$ , harga  $K_w$  adalah  $10^{-14}$ . Dalam air murni, konsentrasi ion hidrogen dan ion hidroksida sama besar. Dari persamaan tetapan kesetimbangan air dapat dihitung besarnya konsentrasi dari  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$ , yaitu:

$$\begin{aligned} K_w &= [\text{H}^+][\text{OH}^-] \\ &= [\text{H}^+][\text{H}^+] \\ &= [\text{H}^+]^2 \end{aligned}$$

$$[\text{H}^+]^2 = 10^{-14}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-7}$$

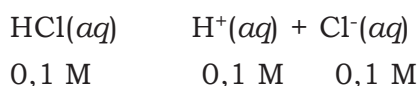
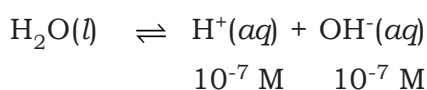
Jadi, pada suhu  $25^\circ\text{C}$  konsentrasi  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  dalam air murni masing-masing sebesar  $10^{-7}$  M.



### a. Asam Kuat atau Basa Kuat

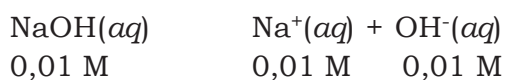
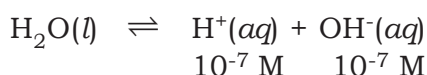
Jika asam kuat atau basa kuat ditambahkan ke dalam air, maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan dalam ionisasi air dan mempengaruhi besarnya konsentrasi  $H^+$  dan  $OH^-$  dalam larutan tersebut. Penambahan asam kuat pada air akan meningkatkan konsentrasi  $H^+$ . Sebaliknya, penambahan basa kuat pada air akan meningkatkan konsentrasi  $OH^-$ .

Asam kuat merupakan asam yang terionisasi seluruhnya di dalam air. Asam kuat yang ditambahkan pada air dapat mengganggu kesetimbangan air. Sebagai contoh, larutan asam klorida 0,1 M. Dalam larutan HCl tersebut akan terjadi reaksi ionisasi air dan ionisasi HCl.



Reaksi ionisasi larutan HCl juga menghasilkan ion  $H^+$ . Ion  $H^+$  yang berasal dari HCl akan menyebabkan kesetimbangan air bergeser ke kiri. Akibatnya konsentrasi  $H^+$  dalam air murni menjadi kurang dari  $10^{-7} \text{ M}$  dan jauh lebih kecil dibandingkan konsentrasi  $H^+$  dari HCl sehingga konsentrasi  $H^+$  dari air dapat diabaikan. Jadi, dalam larutan asam kuat, konsentrasi  $H^+$  hanya ditentukan oleh konsentrasi dari asam kuat.

Sama seperti halnya asam kuat, basa kuat merupakan basa yang terionisasi seluruhnya di dalam air. Adanya penambahan basa kuat dalam air akan mengganggu kesetimbangan air. Misalnya, dalam larutan NaOH 0,01 M terjadi reaksi ionisasi air dan ionisasi basa.



Adanya ion  $OH^-$  yang berasal dari NaOH akan menggeser kesetimbangan air ke kiri. Akibatnya konsentrasi  $OH^-$  dalam air murni menjadi kurang dari  $10^{-7} \text{ M}$  dan jauh lebih kecil dibandingkan konsentrasi  $OH^-$  dari NaOH sehingga konsentrasi  $OH^-$  dari air dapat diabaikan. Jadi, dalam larutan basa kuat, konsentrasi  $OH^-$  juga hanya ditentukan oleh konsentrasi dari basa kuat.

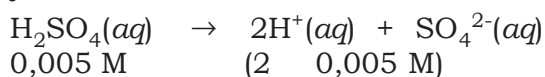
Jadi, asam atau basa yang dilarutkan dalam air akan mengubah konsentrasi  $H^+$  atau  $OH^-$  dari air (Ingat bahwa dalam air murni  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$  M, sesuai harga  $K_w = 10^{-14}$  M). Penambahan asam akan meningkatkan konsentrasi  $H^+$ , sedangkan penambahan basa akan meningkatkan konsentrasi  $OH^-$ . Semakin besar konsentrasi  $H^+$  (atau semakin kecil konsentrasi  $OH^-$ ), maka larutan tersebut semakin asam. Sebaliknya, semakin kecil konsentrasi  $H^+$  (atau semakin besar konsentrasi  $OH^-$ ), maka larutan tersebut semakin basa. Jadi, sifat dari larutan asam atau basa ditentukan oleh konsentrasi ion hidrogennya. Dalam larutan asam, konsentrasi  $H^+$  lebih besar dari konsentrasi  $OH^-$ . Sebaliknya, dalam larutan basa, konsentrasi  $OH^-$  lebih besar dari konsentrasi  $H^+$ .

### Contoh Soal 5.1

Hitunglah konsentrasi ion  $H^+$  dan ion  $OH^-$  dalam larutan  $H_2SO_4$  0,005 M pada suhu  $25^\circ C$ ?

#### Penyelesaian:

Kalian tuliskan terlebih dahulu persamaan reaksi ionisasinya, yaitu:



Dari persamaan reaksi tersebut diperoleh  $[H^+] = 0,01$  M.

Konsentrasi  $OH^-$  ditentukan dari persamaan tetapan kesetimbangan air, yaitu:

$$K_w = [H^+] [OH^-]$$

$$10^{-14} = 0,01 [OH^-]$$

$$[OH^-] = 10^{-12} \text{ M}$$

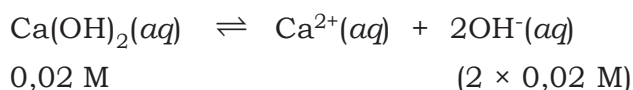
Jadi, dalam larutan  $H_2SO_4$  0,005 M terdapat  $[H^+]$  sebesar 0,01 M dan  $[OH^-]$  sebesar  $10^{-12}$  M.

### Contoh Soal 5.2

Hitunglah konsentrasi ion  $H^+$  dan  $OH^-$  dalam larutan  $Ca(OH)_2$  0,02 M pada suhu  $25^\circ C$ !

#### Penyelesaian:

Tuliskan terlebih dahulu persamaan reaksi ionisasinya, yaitu:



Dari persamaan reaksi tersebut diperoleh konsentrasi ion  $OH^-$  adalah 0,04 M.

Konsentrasi ion  $H^+$  juga ditentukan dari persamaan tetapan kesetimbangan air, yaitu:

$$K_w = [H^+] \times [OH^-]$$

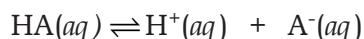
$$10^{-14} = [H^+] \times 0,04$$

$$[H^+] = 2,5 \times 10^{-13} \text{ M}$$

Jadi, dalam larutan  $Ca(OH)_2$  0,02 M terdapat  $[H^+]$  sebesar 0,04 M dan  $[OH^-]$  sebesar  $2,5 \times 10^{-13}$  M.

#### b. Asam Lemah atau Basa Lemah

Kebanyakan senyawa asam atau basa merupakan asam lemah atau basa lemah. Berbeda dengan asam kuat yang terionisasi seluruhnya menjadi ion-ionnya, asam lemah hanya terionisasi sebagian di dalam air. Hal itu menunjukkan bahwa dalam ionisasi asam lemah terjadi kesetimbangan antara ion-ion yang dihasilkan dengan molekul asam yang terionisasi. Untuk asam lemah, konsentrasi ion hidrogen dalam larutan ditentukan oleh tetapan ionisasi asam, yang dilambangkan dengan  $K_a$ . Jika ditinjau suatu asam lemah monoprotik dalam air, HA yang hanya menghasilkan satu ion hidrogen pada reaksi ionisasinya. Persamaan kesetimbangannya sebagai berikut.



Tetapan ionisasi asam ( $K_a$ ) dari reaksi ionisasi tersebut adalah:

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

Berdasarkan persamaan ionisasi asam dapat dilihat bahwa  $[H^+]$  sama dengan  $[A^-]$ . Dengan demikian, tetapan ionisasi asam menjadi:

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

$$[H^+][H^+] = K_a \times [HA]$$

$$[H^+]^2 = K_a [HA]$$

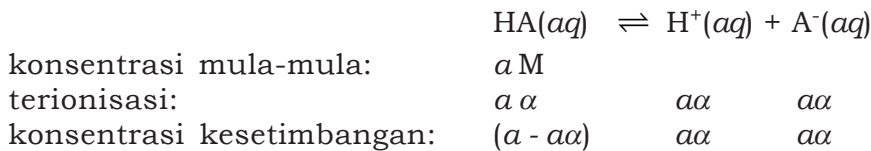
$$[H^+] = \sqrt{K_a \times [HA]}$$

Keterangan:

$K_a$  = tetapan ionisasi asam

$[HA]$  = konsentrasi asam lemah

Harga  $K_a$  menunjukkan kekuatan suatu asam. Semakin besar harga  $K_a$ , maka semakin kuat asam tersebut. Sebaliknya, semakin kecil harga  $K_a$ , maka semakin lemah asam tersebut. Kekuatan asam juga ditunjukkan oleh derajat ionisasinya, yang dilambangkan dengan  $\alpha$ . Derajat ionisasi asam lemah bergantung pada harga  $K_a$  dan konsentrasi larutan asam. Untuk mengetahui hubungan antara derajat ionisasi,  $K_a$  dan konsentrasi asam, kalian tinjau kembali persamaan kesetimbangan HA.



Pada kesetimbangan, konsentrasi HA dianggap tetap karena konsentrasi HA yang terionkan sangat sedikit dibandingkan dengan konsentrasi HA yang tidak terionkan, sehingga dari persamaan:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \times [\text{HA}]}$$

maka,  $a\alpha = \sqrt{K_a \times a}$

$$a^2\alpha^2 = \sqrt{K_a \times a}$$

$$\alpha^2 = \frac{K_a \times a}{a^2}$$

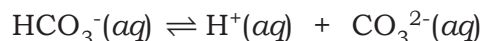
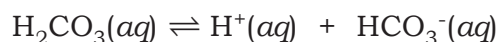
$$\alpha^2 = \frac{K_a}{a}$$

didapatkan:  $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{[\text{HA}]}}$

Berdasarkan persamaan tersebut, semakin besar konsentrasi HA yang berarti bahwa larutan semakin pekat, maka harga derajat ionisasinya semakin kecil. Sebaliknya, semakin kecil konsentrasi HA yang berarti bahwa larutan semakin encer, maka derajat ionisasinya semakin besar.

Selain asam monoprotik, kalian juga telah mengenal asam poliprotik. Bagaimanakah proses ionisasi asam poliprotik? Asam poliprotik adalah asam yang menghasilkan lebih dari satu ion hidrogen dalam larutannya. Sebagai contoh adalah asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) dan asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Asam karbonat dapat menghasilkan dua ion hidrogen, sedangkan asam fosfat dapat menghasilkan tiga ion hidrogen. Jadi, proses ionisasi asam poliprotik berlangsung secara bertahap sehingga terdapat lebih dari satu harga  $K_a$ . Kita ambil contoh proses ionisasi pada asam karbonat

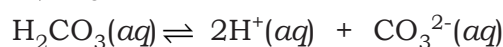
yang berlangsung dalam dua tahap. Persamaan kesetimbangannya sebagai berikut.



Pada proses ionisasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$  terdapat dua harga  $K_a$ , yaitu  $K_{a1}$  sebesar  $4,3 \times 10^{-7}$  dan  $K_{a2}$  sebesar  $4,8 \times 10^{-11}$ .

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad \text{atau} \quad K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

Jika kedua tahap ionisasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$  digabungkan akan didapat proses ionisasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$  secara keseluruhan, yaitu:

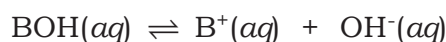


Coba kalian perhatikan harga  $K_a$ ,  $K_{a1}$ , dan  $K_{a2}$ . Ternyata, hasil kali antara harga  $K_{a1}$  dan  $K_{a2}$  merupakan harga  $K_a$ .

$$\begin{aligned} K_{a1} K_{a2} &= K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \times \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \\ K_a &= \frac{[\text{H}^+]^2[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \end{aligned}$$

Pada umumnya, konsentrasi ion-ion yang dihasilkan pada tahap pertama jauh lebih besar daripada konsentrasi ion yang dihasilkan pada tahap kedua. Hal ini tampak pada harga  $K_{a1}$  yang jauh lebih besar (sekitar  $10^4$  kali) dari harga  $K_{a2}$ .

Sama seperti asam lemah, basa lemah juga hanya terionisasi sebagian di dalam air. Dalam larutan basa lemah terjadi kesetimbangan antara ion-ion hasil ionisasi dengan basa yang terionisasi. Jika kita tinjau suatu basa lemah, BOH, maka persamaan kesetimbangannya dapat dituliskan sebagai berikut.



Pada reaksi kesetimbangan basa lemah, konsentrasi ion-ion ditentukan dari tetapan ionisasi basa ( $K_b$ ). Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti pada kesetimbangan asam lemah, maka konsentrasi ion  $\text{OH}^-$  dalam larutan ditentukan dari persamaan:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \times [\text{BOH}]}$$

**Keterangan:**

$K_b$  = tetapan ionisasi basa

$[\text{BOH}]$  = konsentrasi basa lemah

Demikian juga derajat ionisasinya dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{[\text{BOH}]}}$$

Kekuatan basa lemah ditentukan dari harga  $K_b$  dan  $\alpha$ . Jika harga  $K_b$  semakin tinggi berarti semakin kuat basa tersebut.

## 2. Derajat Keasaman (pH)

Ukuran keasaman atau kebasaaan suatu larutan ditentukan dari konsentrasi ion hidrogen. Untuk memudahkan pengukuran, konsentrasi ion hidrogen dinyatakan dalam pH (pangkat hidrogen). Konsep pH dikemukakan oleh ahli biokimia dari Denmark **S.P. Sorensen** pada tahun 1909. Menurut Sorensen, pH merupakan logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen dan dirumuskan menurut persamaan berikut.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Untuk mengukur konsentrasi  $\text{OH}^-$  dari suatu larutan basa dinyatakan dengan pOH, yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

Hubungan antara pH dan pOH diturunkan dari persamaan tetapan ionisasi air ( $K_w$ ) pada suhu 25°C, yaitu:

$$\begin{aligned} [\text{H}^+][\text{OH}^-] &= K_w \\ -\log ([\text{H}^+][\text{OH}^-]) &= -\log K_w \\ (-\log [\text{H}^+]) + (-\log [\text{OH}^-]) &= -\log 10^{-14} \\ \text{pH} + \text{pOH} &= 14 \end{aligned}$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

Untuk lebih memahami konsep pH dan pOH, coba kalian perhatikan beberapa contoh berikut.

- a. Air murni merupakan larutan netral di mana  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$  M.

$$\text{Jadi pH} = \text{pOH} = -\log 10^{-7} = 7$$

- b. Larutan HCl 0,01 M merupakan asam kuat sehingga terionisasi seluruhnya menjadi  $H^+$  dan  $Cl^-$ . Jadi,  $[H^+] = [HCl] = 0,01$  M

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log [H^+] \\ &= -\log 10^{-2} \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH}$$

$$= 14 - 2 = 12$$

- c. Larutan  $CH_3COOH$  0,01 M merupakan asam lemah sehingga hanya terionisasi sebagian menjadi  $H^+$  dan  $CH_3COO^-$ . Diketahui  $K_a = 1,7 \times 10^{-5}$

$$\text{Jadi, } [H^+] = \sqrt{K_a \times [CH_3COOH]}$$

$$= \sqrt{1,7 \times 10^{-5} \times 10^{-2}}$$

$$= 4,1 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log (4,1 \times 10^{-4})$$

$$= 4 - \log 4,1 = 3,38$$

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH}$$

$$= 14 - 3,38 = 10,62$$

- d. Larutan NaOH 0,01 M merupakan basa kuat sehingga terionisasi seluruhnya menjadi  $Na^+$  dan  $OH^-$ . Jadi,  $[OH^-] = [NaOH] = 0,01$  M.

$$\text{pOH} = -\log [OH^-]$$

$$= -\log 10^{-2} = 2$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$= 14 - 2 = 12$$

- e. Larutan  $NH_3$  0,01 M merupakan basa lemah sehingga hanya terionisasi sebagian menjadi  $NH_4^+$  dan  $OH^-$ . Diketahui  $K_b = 1,8 \times 10^{-5}$

$$\text{Jadi, } [OH^-] = \sqrt{K_b \times [NH_3]}$$

$$= \sqrt{1,8 \times 10^{-5} \times 10^{-2}} = 4,2 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{pOH} = -\log (4,2 \times 10^{-4} \text{ M})$$

$$= 4 - \log 4,2 = 3,38$$

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 14 - \text{pOH} \\ &= 14 - 3,38 = 10,62 \end{aligned}$$

Berdasarkan kelima contoh tersebut, kalian dapat mengambil kesimpulan bahwa:

- Pada larutan yang bersifat netral, harga  $\text{pH} = 7$
- Pada larutan yang bersifat asam, harga  $\text{pH} < 7$
- Pada larutan yang bersifat basa, harga  $\text{pH} > 7$

### 3. Indikator Asam dan Basa

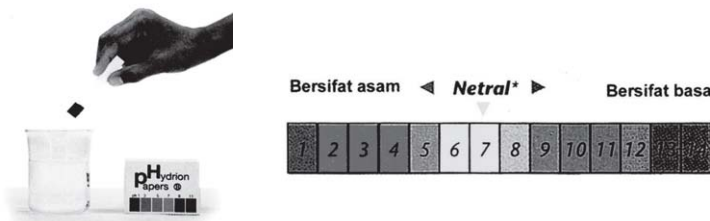
Jika kalian ingin menentukan harga pH dari suatu larutan tertentu, maka kalian dapat menggunakan indikator asam basa maupun pH meter. Indikator asam basa adalah suatu zat yang memberikan warna tertentu pada pH larutan tertentu. Indikator asam-basa yang biasa digunakan di laboratorium adalah kertas lakmus. Kalian tentu sudah biasa berurusan dengan kertas lakmus untuk mengetahui keasaman atau kebasaan suatu larutan. Jika lakmus biru dicelupkan ke dalam larutan asam akan berubah menjadi merah pink, sedangkan jika lakmus merah dicelupkan ke dalam larutan basa akan menjadi biru.

**Kilas Kimia**

Lakmus biru → merah → asam  
 Lakmus merah → biru → basa  
 $\text{pH asam} < 7$   
 $\text{pH basa} > 7$   
 $\text{pH netral} = 7$

**Tabel 5.2 Beberapa Larutan Indikator Asam Basa**

Indikator	Trayek pH	Perubahan Warna
Metil violet	0,5 - 1,5	Kuning - violet
Metil yellow	12,00 - 3,0	Merah - kuning
Metil orange	3,1 - 4,4	Merah - kuning
Metil red	14,2 - 6,3	Merah - kuning
Brom thymol blue	6,0 - 7,6	Kuning - biru
Fenolftalein	8,00 - 10,00	tidak berwarna - merah



Sumber: *Ensiklopedi Sain dan Kehidupan*

**Gambar 5.4** Indikator universal



Untuk mengukur pH secara lebih akurat dapat dilakukan dengan suatu alat yang disebut pH meter.

### Fokus Kimia

#### Merangsang Keingintahuan

#### Hujan Asam

Istilah hujan asam pertama kali dikenalkan oleh ahli kimia Inggris **Robert Smith** berdasarkan hasil studinya tentang air hujan di Inggris. Maksud istilah ini adalah hujan yang memiliki harga pH di bawah pH hujan alami ( $\text{pH} < 5,5$ ). Hujan alami melarutkan gas  $\text{CO}_2$  di atmosfer membentuk asam karbonat sehingga sedikit bersifat asam, sedangkan hujan asam bisa mencapai harga pH 4 bahkan bisa lebih rendah lagi.

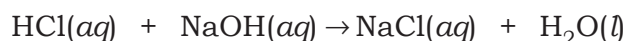
Hujan asam disebabkan oleh adanya polusi udara yang berasal dari kegiatan pabrik terutama dari pembakaran batu bara dan kendaraan bermotor. Gas buangan yang dilepaskan ke udara, seperti gas  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ , dan  $\text{NO}_2$  bila bereaksi dengan air akan membentuk asam sulfat dan asam nitrit. Bagaimana reaksi terbentuk? Coba tuliskan reaksi kimianya! Hujan asam juga membawa kerugian yang sangat banyak. Dapatkah kalian menyebutkan dampak kerugian akibat hujan asam?

### Latihan 5.2

1. Jika 10 mL larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 M ditambah dengan 15 mL larutan KOH 0,1 M, tentukan:
  - a. pH masing-masing larutan sebelum dicampur!
  - b. pH larutan yang terbentuk sesudah kedua larutan dicampur!
2. Asam fosfat 0,1 M mempunyai  $\text{pH} = 2 - \log 3$ . Tentukan derajat ionisasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$ !
3. Berapakah pH larutan amoniak 0,40 M jika diketahui  $K_b = 1,8 \times 10^{-5}$ ?
4. Berapakah pH larutan asam benzoat ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ) 0,1 M jika diketahui  $K_a = 6,3 \times 10^{-5}$ ?
5. Hitunglah pH larutan berikut.
  - a.  $\text{HClO}_4$  0,015 M
  - b.  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  0,02 M
  - c.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,035 M

## C. Reaksi Asam dan Basa

Dalam air, asam menghasilkan ion  $H^+$  dan basa menghasilkan ion  $OH^-$ . Jika asam bereaksi dengan basa, ion-ion ini akan saling menetralkan. Oleh karena itu, reaksi asam dengan basa disebut juga sebagai reaksi netralisasi. Salah satu contoh yang sudah kalian kenal baik adalah garam dapur ( $NaCl$ ). Hasil dari reaksi netralisasi adalah air dan senyawa ionik, yang disebut **garam**. Garam tersebut terdiri dari kation yang berasal dari basa dan anion yang berasal dari asam. Reaksi netralisasi disebut juga reaksi penggaraman. Semua garam termasuk elektrolit kuat. Senyawa ini dihasilkan oleh reaksi asam-basa berikut.



Jika basa bereaksi dengan asam monoprotik, maka hanya akan dihasilkan satu jenis garam. Jika basa bereaksi dengan asam poliprotik, maka bisa dihasilkan lebih dari satu jenis garam tergantung dari reaksi netralisasi yang dilakukan. Salah satu contoh adalah reaksi antara  $H_2SO_4$  dengan  $NaOH$  dapat dihasilkan dua jenis garam, yaitu natrium sulfat ( $Na_2SO_4$ ) dan natrium bisulfat ( $NaHSO_4$ ).

Pada reaksi antara asam dan basa yang konsentrasinya sama tidak selamanya menghasilkan larutan netral, karena tergantung dari kekuatan dari asam dan basa tersebut. Salah satu cara menetralkan asam dengan basa atau sebaliknya adalah dengan melakukan titrasi. Titrasi adalah penambahan larutan baku atau larutan yang telah diketahui konsentrasinya dengan bantuan indikator.

Untuk reaksi penetralan, indikator yang digunakan adalah indikator yang berubah warna pada pH netral atau mendekati netral. Indikator yang sering digunakan yaitu fenolftalein. Indikator lainnya adalah metil merah dan bromtimol biru. Hal-hal penting pada titrasi yaitu:

1. Titik akhir titrasi  
Yaitu saat dimana indikator berubah warna.



Sumber: Kamus Visual

Gambar 5.5 Alat untuk titrasi

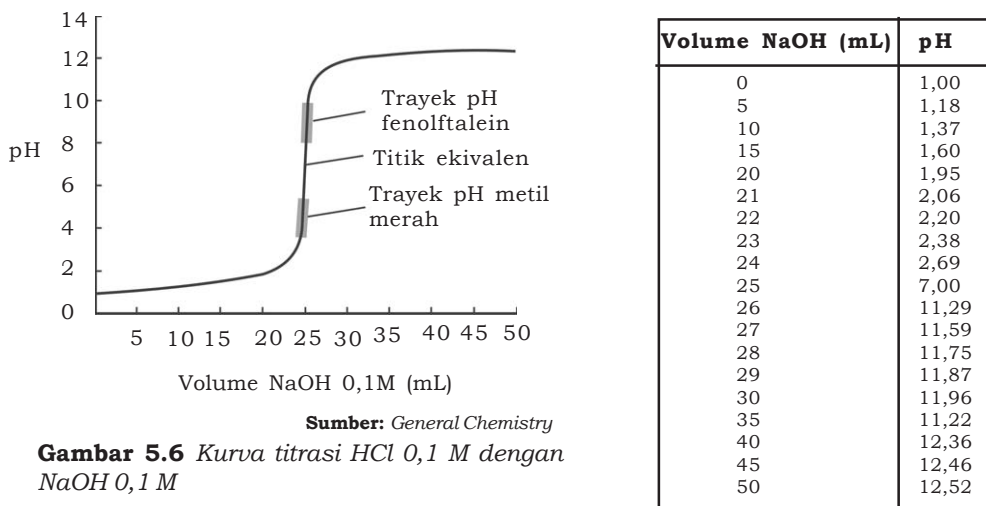
## 2. Titik Ekuivalen

Yaitu saat jumlah mol  $H^+$  sama dengan jumlah mol  $OH^-$ . Biasanya ditunjukkan dengan harga pH.

Jika larutan asam ditetesi dengan larutan basa, maka pH larutan akan naik. Sebaliknya, jika larutan basa bisa ditetesi dengan larutan asam maka pH-nya akan turun. Grafik yang menyatakan perubahan pH pada penetesan asam dengan basa dan sebaliknya disebut kurva titrasi. Kurva titrasi berbentuk huruf S, yang pada titik tengahnya merupakan titik ekuivalen. Pada bagian berikut akan dibahas tiga jenis kurva titrasi yaitu:

### 1. Penetralkan Asam Kuat oleh Basa Kuat

Berikut ini adalah contoh kurva titrasi antara larutan HCl dengan NaOH. Sebanyak 25 mL larutan HCl 0,1 M dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M menghasilkan kurva titrasi sebagai berikut.



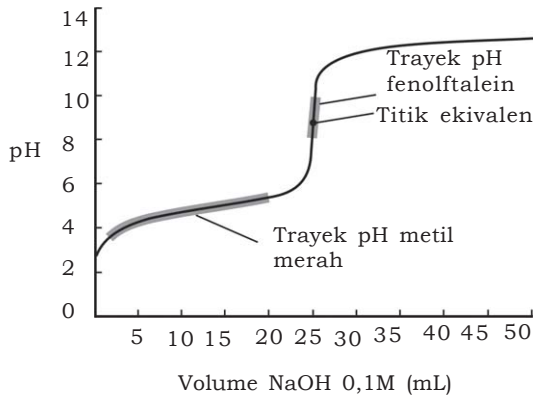
Sumber: General Chemistry

**Gambar 5.6** Kurva titrasi HCl 0,1 M dengan NaOH 0,1 M

Dari kurva tersebut terlihat bahwa pH larutan naik sedikit demi sedikit, tetapi perubahan yang cukup drastis terjadi sekitar titik ekuivalen. Titik ekuivalen tercapai pada saat volume NaOH yang ditambahkan 50 mL, yaitu pada saat pH larutan 7 (netral). Indikator yang bisa digunakan adalah fenolftalein.

### 2. Penetralkan Asam Lemah oleh Basa Kuat

Berikut ini adalah contoh kurva titrasi antara asam asetat dengan NaOH 0,1 M menghasilkan kurva titrasi sebagai berikut.



Volume NaOH (mL)	pH
0	2,92
1	3,47
2	3,79
3	3,98
4	4,13
5	4,25
10	4,67
15	5,03
20	5,45
21	5,57
22	5,72
23	5,91
24	6,23
25	8,78
26	11,30
27	11,60
28	11,78
29	11,90
30	12,00
35	12,30
40	12,48
45	12,60
50	12,70

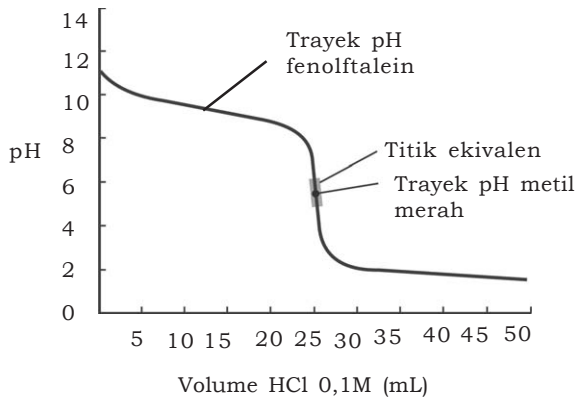
Sumber: General Chemistry

**Gambar 5.7** Kurva titrasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M dengan  $\text{NaOH}$  0,1 M

Pada kurva di atas terlihat pada saat netral ( $\text{pH} = 7$ ) volume basa lebih sedikit daripada volume asam. Sedangkan titik ekuivalen pada  $\text{pH} 8,78$  indikator yang digunakan bisa indikator fenolftalein.

### 3. Penetralkan Basa Lemah oleh Asam Luat

Perubahan pH pada penetralkan basa lemah oleh asam kuat, misalnya 25 mL larutan  $\text{NH}_3$  0,1 M yang dititrasi dengan larutan  $\text{HCl}$  0,1 M sedikit demi sedikit hingga mencapai 50 mL, ditunjukkan oleh Gambar 5.8 berikut.



Volume HCl (mL)	pH
0	11,13
1	10,64
2	10,32
3	10,13
4	9,98
5	9,86
10	9,44
15	9,08
20	8,66
21	8,54
22	8,39
23	8,20
24	7,88
25	5,28
26	2,70
27	2,40
28	2,22
29	2,10
30	2,00
35	1,70
40	1,52
45	1,40
50	1,30

Sumber: General Chemistry

**Gambar 5.8** Kurva titrasi  $\text{NH}_3$  0,1 M dengan  $\text{HCl}$  0,1 M

Pada kurva di atas terlihat bahwa titik ekuivalen pada saat pH di bawah 7 yaitu pada pH 5,28. Untuk menunjukkan titik ekuivalen dapat digunakan indikator metil merah (trayek pH= 4,2 - 6,3).

### Contoh Soal 5.3

Larutkan HCl 0,4 M dititiasi dengan larutan NaOH. Ternyata titik akhir titrasi tercapai bila 25 mL larutan HCl memerlukan 100 mL larutan NaOH. Tentukan molaritas larutan NaOH!

#### Penyelesaian:

$$\begin{aligned}V_{\text{asam}} &= 25 \text{ mL} \\V_{\text{basa}} &= 100 \text{ mL} \\M_{\text{asam}} &= V_{\text{basa}} \times M_{\text{basa}} \\0,4 \times 25 &= 100 \times M_{\text{basa}} \\M_{\text{basa}} &= \frac{25 \times 0,4}{100} \\M_{\text{basa}} &= 0,1 \text{ M}\end{aligned}$$

Untuk lebih menumbuhkan semangat **inovasi**, **kreativitas**, dan **berpikir kritis**, lakukanlah percobaan berikut.

### Percobaan

#### Tujuan:

Menentukan molaritas larutan asam dengan cara titrasi asam oleh basa yang sudah diketahui molaritasnya.

#### Alat:

1. Buret dan statif
2. Gelas ukur
3. Erlenmeyer 3 buah
4. Pipet

#### Bahan:

1. Larutan NaOH 0,1 M secukupnya.
2. Larutan HCl  $x$  M, sebanyak 30 mL.
3. Indikator fenolftalein

#### Cara Kerja:

1. Isikan larutan NaOH 0,1 M ke dalam buret.
2. Ukur masing-masing 10 mL larutan HCl  $x$  M ke dalam 3 buah erlenmeyer.
3. Teteskan 2 tetes indikator fenolftalein ke dalam masing-masing erlenmeyer.

4. Teteskan sedikit demi sedikit NaOH dari buret ke dalam erlenmeyer yang berisi HCl sambil di kocok-kocok.
5. Hentikan tetesan NaOH jika warna larutan dalam elenmeyer sudah berubah merah muda.
6. Catat volume NaOH yang ditambahkan.
7. Ulangi percobaan untuk larutan HCl pada elenmeyer ke-2 dan ke-3.

**Data Pengamatan:**

Erlenmeyer	Volume NaOH (mL)
1.	.....
2.	.....
3.	.....
	$V_{\text{rata-rata}} =$

**Perhitungan:**

Pada saat tepat akan berubah warna, berarti tepat terjadi penetralan, yaitu  $n \text{ H}^+ = n \text{ OH}^-$

$$V_{\text{asam}} \times M_{\text{asam}} = V_{\text{basa}} \times M_{\text{basa}}$$

**Pertanyaan:**

1. Hitunglah berapa larutan HCl yang dititrasi!
2. Buatlah kesimpulan dari percobaan tersebut!

**Rangkuman**

1. Konsep asam basa dijelaskan dalam tiga definisi:
  - a. Arrhenius
    - 1) asam adalah senyawa yang menghasilkan ion  $\text{H}^+$  dalam air
    - 2) basa adalah senyawa yang menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  dalam air.
  - b. Bronsted-Lowry
    - 1) asam adalah pemberi proton
    - 2) basa adalah penerima proton
    - 3) asam dan basa membentuk pasangan dengan kation atau anion yang dihasilkannya (disebut pasangan asam basa konjugasi).
  - c. Lewis
    - 1) asam adalah penerima pasangan elektron
    - 2) basa adalah pemberi pasangan elektron

2. Sifat larutan asam atau basa ditentukan oleh konsentrasi  $H^+$  dan konsentrasi  $OH^-$ . Ukuran keasaman larutan dinyatakan dengan pH (pangkat hidrogen),  $pH = -\log [H^+]$ .
  - a. Larutan netral,  $[H^+] = [OH^-]$  atau harga  $pH = 7$
  - b. Larutan asam,  $[H^+] > [OH^-]$  atau harga  $pH < 7$
  - c. Larutan basa,  $[H^+] < [OH^-]$  atau harga  $pH > 7$
3. Larutan asam atau basa kuat terionisasi seluruhnya dalam air, sedangkan larutan asam atau basa lemah terionisasi sebagian dalam air.
4. Konsentrasi  $H^+$  dan  $OH^-$  larutan asam atau basa lemah ditentukan oleh tetapan ionisasi asam ( $K_a$ ) atau tetapan ionisasi basa ( $K_b$ ). Harga  $K_a$  atau  $K_b$  meningkat dengan meningkatnya kekuatan asam atau basa tersebut.
5. Pengukuran pH dapat dilakukan dengan indikator kimia dan pH meter.
6. Reaksi asam dan basa menghasilkan garam yang sifatnya ditentukan oleh asam dan basa pembentuknya. Titrasi adalah cara analisis kimia untuk menetapkan konsentrasi larutan menggunakan larutan yang sudah diketahui konsentrasinya.
7. Titrasi asam basa dapat dibuat kurva titrasi asam basa yang bentuknya mirip huruf S.

## Evaluasi

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Perhatikan tabel  $K_a$  dari beberapa asam berikut.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
ASAM	HA	HB	HC	HD	HE	HG	HK	HL
$K_a$	$6,2 \times 10^{-8}$	$9,6 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-12}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$7 \times 10^{-4}$	$6,7 \times 10^{-5}$	$7,5 \times 10^{-2}$

Di antara asam di atas yang paling lemah adalah . . . .

- |       |       |
|-------|-------|
| A. HL | D. HC |
| B. HD | E. HE |
| C. HB |       |







# Bab VI

## Kesetimbangan Ion dalam Larutan

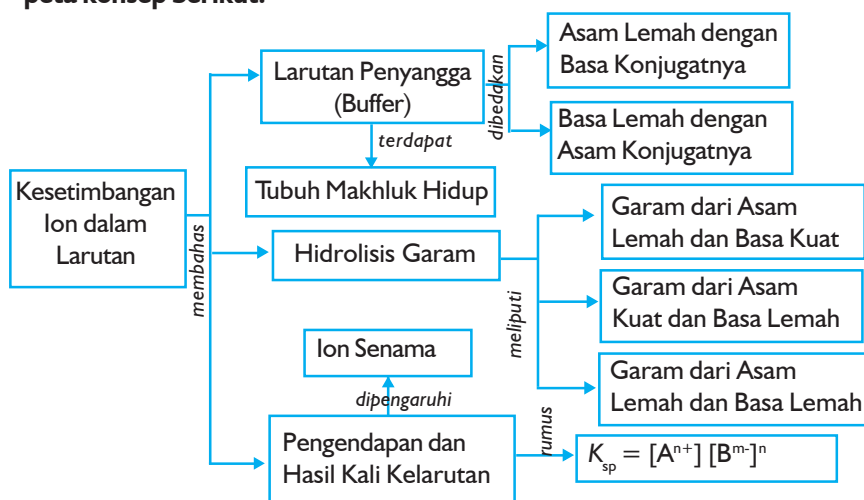
Sumber gambar: General Chemistry

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mengidentifikasi sifat larutan penyangga dan jenis garam yang mengalami hidrolisis dengan menghitung pH-nya, serta memprediksikan terbentuknya endapan dari suatu reaksi berdasarkan prinsip kelarutan dan hasil kali kelarutan.

### Peta Konsep

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut, perhatikanlah peta konsep berikut.



### Kata Kunci

Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini. Berikut ini adalah kata kunci dalam bab VI.

Larutan penyangga	Tetapan hasil kali kelarutan ( $K_{sp}$ )
Hidrolisis garam	Ion Senama
Larutan jenuh	Endapan
Kelarutan	



**Sumber:** Dok. Penerbit

**Gambar 6.1** Air yang dimasak sampai mendidih mencapai kesetimbangan

Ketika kalian memasak air dalam sebuah panci tertutup, lama-kelamaan air akan mendidih. Pada saat air yang mendidih mulai menguap, penguapan tersebut diimbangi oleh air yang kembali mengembun. Penguapan dan pengembunan dikatakan sebagai dua proses yang saling membatalkan. Jika proses-proses tersebut saling membatalkan dengan laju yang sama, sepertinya tidak ada yang berubah atau dapat diartikan tercapai keadaan kesetimbangan.

Pada bab sebelumnya, kalian telah belajar mengenai konsep kesetimbangan yang menyangkut molekul-molekul dalam gas dan juga konsep kesetimbangan yang menyangkut ion-ion dalam larutan, yaitu kesetimbangan ionisasi asam lemah dan basa lemah. Pada bab ini, kalian akan dikenalkan dengan jenis kesetimbangan ion yang lain, yaitu larutan penyangga, hidrolisis garam, dan kesetimbangan dalam larutan jenuh garam yang sedikit larut.

## A. Larutan Penyangga

Banyak reaksi kimia dalam tubuh kalian yang berlangsung dalam lingkungan pH yang terkontrol. Misalnya, reaksi pengikatan oksigen oleh darah dapat berlangsung dengan baik jika pH darah berada pada rentang pH 7,35 - 7,45. Apakah yang menyebabkan pH darah tetap terkontrol? Tahukah kalian tentang larutan penyangga? Larutan penyangga atau disebut juga larutan *buffer* adalah larutan yang dapat mempertahankan harga pH. Jadi, harga pH larutan penyangga praktis tidak akan berubah meskipun ada penambahan sedikit asam, basa, atau pengenceran.

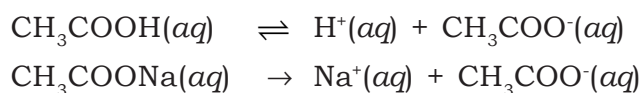
Berbeda halnya jika asam atau basa ditambahkan ke dalam larutan bukan penyangga, maka dapat terjadi perubahan pH yang mencolok. Sebagai contoh, jika 1 mL larutan HCl 1 M ditambahkan pada 50 mL larutan penyangga asetat, pH larutan turun dari 4,74 menjadi 4,72. Sebaliknya, jika larutan HCl tersebut ditambahkan ke dalam 50 mL larutan NaCl 1 M, pH larutan NaCl turun drastis dari 7 menjadi 1,7.

### 1. Sifat Larutan Penyangga

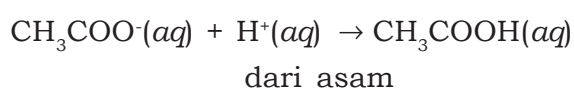
Bagaimana suatu larutan penyangga dapat mempertahankan harga pH? Misalkan, kalian mencampurkan larutan asam lemah dengan larutan garam dari asam tersebut atau mencampurkan larutan basa lemah dengan larutan garam dari basa tersebut, maka akan dihasilkan suatu larutan penyangga. Berarti, suatu larutan penyangga dapat dipastikan mengandung spesi asam dan basa. Spesi asam dan basa inilah yang menyebabkan suatu larutan penyangga dapat mempertahankan harga pH terhadap penambahan sedikit asam kuat maupun basa kuat. Bagaimana hal itu dapat terjadi? Untuk menjawab pertanyaan itu, kita akan membahas dua jenis larutan penyangga.

#### a. Larutan Penyangga Asam Lemah dengan Basa Konjugatnya

Larutan penyangga ini terdiri dari campuran asam lemah dengan basa konjugatnya. Salah satu contoh adalah larutan penyangga yang mengandung  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dan  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ . Larutan ini dapat dibuat dengan mencampurkan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan larutan garam yang mengandung basa konjugasi dari asam tersebut, misalnya garam  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Kedua larutan dalam air akan terionisasi sebagai berikut.

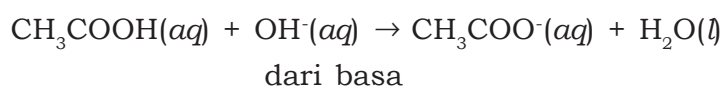


Persamaan ionisasi menunjukkan bahwa dalam larutan penyangga tersebut terdapat campuran asam lemah ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dengan basa konjugasinya ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ). Harga pH larutan penyangga bergantung pada perbandingan konsentrasi asam lemah terhadap konsentrasi basa konjugatnya ( $[\text{CH}_3\text{COOH}]/[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ ). Ketika kalian menambahkan sedikit asam kuat ke dalam larutan penyangga, maka asam tersebut akan melepaskan ion  $\text{H}^+$  yang kemudian bereaksi dengan basa konjugat untuk membentuk asam lemah menurut reaksi berikut.



Asam yang ditambahkan hanya bereaksi dengan sedikit basa konjugat sehingga hanya sedikit mengurangi konsentrasi basa konjugat. Asam lemah yang terbentuk juga hanya sedikit meningkatkan konsentrasi asam lemah sehingga perbandingan  $[\text{CH}_3\text{COOH}]/[\text{CH}_3\text{COO}^-]$  dapat dikatakan relatif tetap. Oleh karena itu, pH larutan penyangga praktis tidak berubah.

Sebaliknya, ketika kalian menambahkan sedikit basa kuat ke dalam larutan, ion  $\text{OH}^-$  dari basa tersebut akan bereaksi dengan asam lemah dari larutan penyangga dan membentuk basa konjugat menurut reaksi berikut.

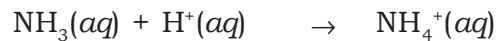


Basa yang ditambahkan hanya bereaksi dengan sedikit asam lemah sehingga hanya sedikit mengurangi konsentrasi asam lemah. Basa konjugat yang terbentuk juga hanya sedikit meningkatkan konsentrasi basa konjugat larutan penyangga sehingga perbandingan  $[\text{CH}_3\text{COOH}]/[\text{CH}_3\text{COO}^-]$  dapat dikatakan relatif tetap. Oleh karena itu, pH larutan penyangga praktis tidak berubah.

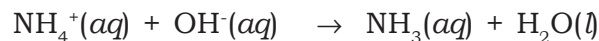
### **b. Larutan Penyangga Basa Lemah dengan Asam Konjugatnya**

Larutan penyangga ini terdiri dari campuran basa lemah dengan asam konjugatnya. Misalnya, larutan penyangga yang mengandung  $\text{NH}_3$  dan  $\text{NH}_4^+$ . Larutan ini dapat dibuat dengan mencampurkan larutan  $\text{NH}_3$  dengan larutan garam yang mengandung asam konjugat dari basa tersebut, misalnya garam  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Jadi, dalam larutan

penyangga tersebut terdapat campuran basa lemah ( $\text{NH}_3$ ) dengan basa konjugatnya ( $\text{NH}_4^+$ ). Jika kalian menambahkan sedikit asam kuat ke dalam larutan penyangga, ion  $\text{H}^+$  dari asam bereaksi dengan basa lemah dan membentuk asam konjugat. Sebaliknya, ketika kalian menambahkan sedikit basa kuat ke dalam larutan penyangga, ion  $\text{OH}^-$  dari basa akan bereaksi dengan asam konjugat membentuk basa lemah. Reaksi yang terjadi pada penambahan asam dan basa terhadap larutan penyangga adalah sebagai berikut.



dari asam



dari basa

Dalam larutan penyangga basa lemah, harga pH bergantung pada perbandingan konsentrasi basa lemah dengan konsentrasi asam konjugatnya. Dengan menggunakan penjelasan yang sama seperti pada larutan penyangga asam lemah dan basa konjugatnya, maka dalam larutan penyangga basa lemah dan asam konjugatnya juga dapat dikatakan bahwa sedikit asam kuat atau basa kuat yang ditambahkan ke dalam larutan penyangga praktis tidak akan mengubah harga pH larutan penyangga tersebut.

Ketika ke dalam dua jenis larutan penyangga tersebut ditambahkan air sehingga larutan menjadi lebih encer, konsentrasi dari asam lemah dan basa konjugatnya maupun konsentrasi basa lemah dan asam konjugatnya akan menurun dengan faktor yang sama. Akan tetapi perbandingan konsentrasi dari spesi penyusunnya dalam kedua jenis larutan penyangga tersebut tidak mengalami perubahan sehingga harga pH juga dikatakan tidak berubah.

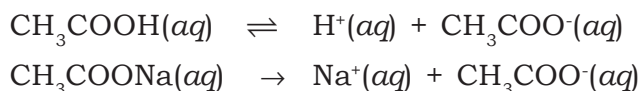
Jadi, penambahan sedikit asam kuat maupun basa kuat dan pengenceran pada larutan penyangga praktis tidak akan mengubah pH larutan penyangga kecuali jumlah asam atau basa atau air yang ditambahkan relatif lebih besar dibandingkan jumlah larutan penyangga. Oleh karena itu, kalian dapat mengambil suatu kesimpulan bahwa larutan penyangga merupakan larutan yang dapat mempertahankan harga pH. Agar larutan penyangga dapat berfungsi secara efektif, konsentrasi asam lemah dan basa konjugatnya atau konsentrasi basa lemah dan asam konjugatnya dijaga tetap tinggi dan hampir sama satu sama lain.

## 2. Harga pH Larutan Penyangga

Dalam suatu larutan penyangga, terjadi reaksi kesetimbangan dari asam lemah maupun dari basa lemah penyusunnya. Harga pH larutan penyangga akan bergantung pada harga  $K_a$  dari asam lemah dan  $K_b$  dari basa lemah serta perbandingan konsentrasi asam lemah dengan basa konjugatnya maupun perbandingan konsentrasi basa lemah dengan asam konjugatnya.

### a. Larutan Penyangga Asam Lemah dengan Basa Konjugatnya

Harga pH larutan penyangga asam lemah dan basa konjugatnya ditentukan oleh perbandingan konsentrasi asam lemah dan basa konjugatnya. Kita ambil contoh larutan penyangga yang mengandung asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dan ion asetat ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ), misalnya yang berasal dari garam  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Seperti telah dijelaskan sebelumnya, dalam larutan penyangga asam asetat dan ion asetat terjadi reaksi sebagai berikut.



Asam asetat hanya terionisasi sebagian dan terjadi kesetimbangan dengan ion-ionnya, sedangkan garam  $\text{CH}_3\text{COONa}$  akan terionisasi seluruhnya menjadi ion-ionnya. Tetapan ionisasi asam asetat adalah:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

Dan konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dalam larutan penyangga dapat dinyatakan menurut persamaan berikut.

$$[\text{H}^+] = K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

Jika ditinjau dari kedua reaksi yang terjadi dalam larutan penyangga, konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dapat dianggap tetap (seakan-akan tidak ada yang terionisasi) karena hanya sedikit  $\text{CH}_3\text{COOH}$  yang terionisasi. Oleh karena itu, konsentrasi ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dapat dianggap hanya berasal dari garam  $\text{CH}_3\text{COONa}$  karena jumlah ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  yang dihasilkan pada ionisasi asam sangat sedikit (konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dari asam dapat diabaikan).

Secara umum, harga pH larutan penyangga dari campuran asam lemah (dimisalkan HA) dan basa konjugatnya ( $A^-$ ) hanya dipengaruhi oleh konsentrasi asam lemah dan konsentrasi basa konjugatnya, yang dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$[H^+] = K_a \times \frac{[\text{asam}]}{[\text{basa konjugat}]}$$

Jika konsentrasi asam dan basa konjugat dinyatakan dalam mol per liter larutan, maka dari persamaan tersebut diperoleh:

$$[H^+] = K_a \times \frac{\text{mol asam lemah/volume}}{\text{mol basa konjugat/volume}}$$

atau dapat ditulis:

$$[H^+] = K_a \times \frac{\text{mol asam lemah}}{\text{mol basa konjugat}}$$

Dari persamaan ini, kalian akan dapat menghitung harga pH dari suatu larutan penyangga yang mengandung campuran asam lemah dan basa konjugatnya.

Suatu larutan penyangga dibuat dengan mencampurkan 100

### Contoh Soal 6.1

mL larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M dengan 100 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,1 M.  $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 1,7 \times 10^{-5}$ . Hitung pH larutan penyangga tersebut!

#### Penyelesaian:

Untuk menentukan pH larutan penyangga tersebut, kalian hitung dulu mol asam dan basa konjugatnya secara stoikiometri menggunakan rumus  $n = M \times V$ , maka diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{mol CH}_3\text{COOH} &= M \times V \\ &= 0,1 \text{ mol/L} \times 100 \text{ mL} \\ &= 10 \text{ mmol} \\ \text{mol CH}_3\text{COONa} &= 0,1 \text{ mol/L} \times 100 \text{ mL} \\ &= 10 \text{ mmol} \\ \text{mol CH}_3\text{COO}^- &= \text{mol CH}_3\text{COONa} \\ &= 10 \text{ mmol} \end{aligned}$$

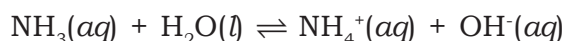


$$\begin{aligned}
 [\text{H}^+] &= K_a \times \frac{\text{mol asam lemah}}{\text{mol basa konjugat}} \\
 \text{mol asam} &= \text{mol basa konjugat, sehingga:} \\
 \text{pH} &= pK_a \\
 &= -\log (1,7 \times 10^{-5}) \\
 &= 5 - \log 1,7 \\
 &= 4,77
 \end{aligned}$$

Jadi, pH larutan penyangga tersebut adalah 4,77.

### **b. Larutan Penyangga Basa Lemah dengan Asam Konjugatnya**

Harga pH larutan penyangga basa lemah dan asam konjugatnya ditentukan oleh perbandingan konsentrasi basa lemah dan asam konjugatnya. Kita ambil contoh larutan penyangga yang mengandung ammonia ( $\text{NH}_3$ ) dan ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), misalnya yang berasal dari garam  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Dalam larutan tersebut larutan  $\text{NH}_3$  terionisasi sebagian menurut reaksi kesetimbangan, sedangkan garam  $\text{NH}_4\text{Cl}$  terionisasi seluruhnya menjadi ion-ionnya. Reaksi yang terjadi sebagai berikut.



Dengan penjelasan dan cara penurunan rumus yang sama seperti pada larutan penyangga asam lemah dan basa konjugatnya, maka dalam larutan penyangga basa lemah dan asam konjugatnya berlaku rumus:

$$[\text{OH}^-] = K_b \times \frac{\text{mol basa lemah}}{\text{mol asam konjugat}}$$

Dari persamaan tersebut, kalian dapat menentukan harga pOH dalam larutan. Dengan demikian, harga pH larutan juga dapat ditentukan.

### Contoh Soal 6.2

Larutan penyangga dibuat dengan mencampurkan 60 mL larutan  $\text{NH}_3$  0,1 M dan 40 mL larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,1 M.  $K_b \text{ NH}_3 = 1,8 \times 10^{-5}$ . Berapakah pH larutan penyangga tersebut?

#### Penyelesaian:

Untuk menentukan pH larutan penyangga tersebut, kalian hitung dulu mol basa dan asam konjugatnya secara stoikiometri menggunakan rumus  $n = M \times V$ , maka diperoleh

$$\begin{aligned} \text{mol NH}_3 &= M \times V \\ &= 0,1 \text{ mol/L} \times 60 \text{ mL} \\ &= 6 \text{ mmol} \\ \text{mol NH}_4\text{Cl} &= 0,1 \text{ mol/L} \times 40 \text{ mL} \\ &= 4 \text{ mmol} \\ \text{mol NH}_4^+ &= \text{mol NH}_4\text{Cl} \\ &= 4 \text{ mmol} \\ [\text{OH}^-] &= K_b \times \frac{\text{mol basa lemah}}{\text{mol asam konjugat}} \\ &= 1,8 \times 10^{-5} \times \frac{6 \text{ mmol}}{4 \text{ mmol}} \\ &= 2,7 \times 10^{-5} \text{ M} \\ \text{pOH} &= -\log (2,7 \times 10^{-5}) \\ &= 5 - \log 2,7 = 4,57 \\ \text{pH} &= 14 - 4,57 = 9,43 \end{aligned}$$

Jadi, pH larutan penyangga tersebut adalah 9,43.

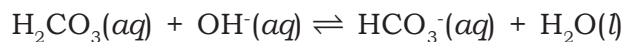
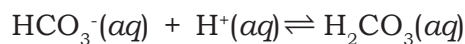
### 3. Larutan Penyangga dalam Tubuh Makhluk Hidup dan Kehidupan Sehari-hari

Reaksi biokimia dalam tubuh kalian, terutama reaksi yang melibatkan enzim berlangsung pada lingkungan pH yang terkontrol agar dicapai hasil yang optimal. Enzim sangat sensitif terhadap perubahan harga pH. Adanya perubahan pH sedikit saja akan menurunkan aktivitas katalitik suatu enzim. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu larutan penyangga untuk mempertahankan harga pH dalam proses biokimia.

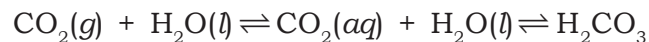
Kebanyakan cairan tubuh memiliki rentang harga pH tertentu. Sebagai contoh, darah kalian memiliki harga pH sekitar 7,35 – 7,45, asam lambung memiliki harga pH sekitar 1 – 2, dan harga pH kelenjar pankreas sekitar 7 – 8. Untuk menjaga agar pH cairan

tetap berada pada kisaran harga tersebut, maka dibutuhkan larutan penyangga. Cairan tubuh baik cairan intrasel (dalam sel) maupun cairan ekstrasel (luar sel) mengandung pasangan asam basa konjugasi yang berfungsi sebagai penyangga pada pH cairan tersebut. Jadi, setiap cairan sel dalam tubuh kalian memiliki larutan penyangga sendiri-sendiri untuk melindungi terhadap perubahan pH yang besar.

Sistem penyangga dalam cairan ekstrasel yang utama adalah penyangga karbonat  $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$ , yang terdiri dari asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) dan basa konjugat ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Larutan penyangga inilah yang membantu menjaga pH darah sekitar 7,4. Jika suatu zat yang bersifat asam atau basa masuk ke dalam darah, maka sistem penyangga ini akan bereaksi dengan asam dan basa tersebut menurut persamaan berikut.



Perbandingan konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{H}_2\text{CO}_3$  dalam darah agar pH sekitar 7,4 adalah 20 : 1. Hal tersebut diakibatkan oleh adanya kesetimbangan antara  $\text{CO}_2$  yang larut dalam darah dengan  $\text{H}_2\text{CO}_3$  dan kesetimbangan antara  $\text{CO}_2$  yang larut dalam darah dengan  $\text{CO}_2$  dalam paru-paru. Reaksi kesetimbangannya adalah sebagai berikut.

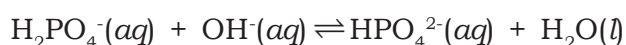
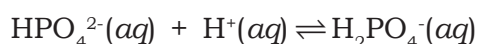


Dari kesetimbangan tersebut dapat dikatakan bahwa konsentrasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$  dipengaruhi oleh gas  $\text{CO}_2$ . Proses metabolisme terus-menerus membentuk zat-zat yang bersifat asam, seperti asam laktat, asam fosfat, dan asam sulfat, yang selanjutnya dibebaskan dalam jaringan tubuh. Ketika asam-asam itu memasuki pembuluh darah, maka ion  $\text{HCO}_3^-$  akan bereaksi dengan asam tersebut menghasilkan  $\text{H}_2\text{CO}_3$  yang kemudian terurai menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Akibatnya pernapasan berlangsung lebih cepat untuk mengeluarkan  $\text{CO}_2$  melalui paru-paru. Sebaliknya, ketika darah harus menerima zat yang bersifat basa, maka  $\text{H}_2\text{CO}_3$  akan bereaksi dengan basa tersebut dan selanjutnya berubah menjadi ion  $\text{HCO}_3^-$ .

Jika mekanisme pengaturan pH dalam tubuh gagal, misalnya ketika kalian sakit, sehingga pH darah turun di bawah 7,0 atau naik di atas 7,8, maka dapat terjadi kerusakan permanen pada organ tubuh. Penyakit yang diakibatkan oleh penurunan pH darah dikenal sebagai asidosis, sedangkan penyakit yang timbul akibat peningkatan pH darah dikenal sebagai alkalosis. Beberapa penyebab

asidosis antara lain penyakit jantung, penyakit ginjal, dan penyakit gula (*diabetes mellitus*). Alkalosis dapat terjadi akibat muntah yang hebat, atau bernapas terlalu berlebihan (*hiperventilasi*), misal ketika cemas atau histeris.

Sistem penyangga dalam cairan intrasel yang utama adalah sistem penyangga fosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ ), yang terdiri dari asam dihidrogenfosfat dan basa konjugat monohidrogenfosfat. Jika suatu zat yang bersifat asam atau basa masuk ke dalam cairan sel, maka sistem penyangga ini akan bereaksi dengan asam dan basa tersebut menurut persamaan berikut.



Adanya sistem penyangga fosfat dalam cairan intrasel menyebabkan pH cairan intrasel dapat dijaga pada kisaran harga yang tetap.

Kontrol pH juga sangat diperlukan dalam bidang sintesis maupun analisis kimia, seperti halnya dalam tubuh makhluk hidup. Proses yang dapat bekerja dengan baik pada pH 5 bisa gagal jika terjadi pada pH 4. Melalui pemilihan asam atau basa lemah yang tepat dan perbandingan konsentrasi asam basa tersebut dengan garamnya, kalian dapat membuat larutan penyangga yang mampu menjaga harga pH. Larutan penyangga juga digunakan secara luas dalam bidang fotografi, industri kulit, dan zat warna. Dalam bidang pertanian, kontrol pH tanah juga diperlukan untuk mendapatkan hasil panen yang bagus. Hal ini disebabkan karena tanaman hanya dapat tumbuh dengan optimal pada rentang harga pH yang spesifik.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** kalian, kerjakanlah Latihan 6.1 berikut.

### Latihan 6.1

1. Jika 100 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,01 M dicampur dengan 25 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,02 M,  $K_a$   $\text{CH}_3\text{COOH} = 1,8 \times 10^{-5}$ . Tentukan pH campuran!
2. Diketahui larutan  $\text{HCOOH}$  ,4 M dan  $(\text{HCOO})_2\text{Ba}$  0,1 M. Jika  $K_a$   $\text{HCOOH} = 2 \times 10^{-4}$  dan akan dibuat larutan penyangga yang memiliki pH = 4, tentukan perbandingan volume  $\text{HCOOH}$  dan  $(\text{HCOO})_2\text{Ba}$ !

3. Larutan 3 liter  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,1 M ditambahkan larutan  $\text{HCl}$  0,1 M sampai pH Larutan = 9. Jika  $K_b \text{NH}_4\text{OH} = 2 \times 10^{-5}$ , tentukanlah volume larutan  $\text{HCl}$  yang ditambahkan!

## B. Hidrolisis Garam

Kalian tentu masih ingat pembahasan mengenai reaksi penggaraman, bukan? Jika suatu asam dan suatu basa bereaksi satu sama lain akan dihasilkan suatu garam dan air. Sifat larutan garam tersebut bergantung pada kekuatan asam dan basa yang direaksikan. Jadi, larutan garam ada yang bersifat asam, basa, atau netral. Mengapa larutan garam bisa bersifat asam, basa, atau netral? Apa yang menyebabkan perbedaan sifat larutan garam tersebut?

Senyawa garam merupakan elektrolit kuat. Ketika garam dilarutkan dalam air akan terurai menjadi kation dan anionnya. Ion-ion ini dapat bereaksi dengan air seperti halnya suatu asam atau basa dan dikatakan bahwa garam mengalami hidrolisis. Hidrolisis berasal dari kata *hydro* yang berarti air dan *lysis* yang berarti peruraian. Jadi, reaksi hidrolisis garam diartikan sebagai reaksi antara anion dengan air menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  atau reaksi antara kation dengan air menghasilkan ion  $\text{H}^+$ . Ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{OH}^-$  inilah yang menyebabkan larutan garam bersifat asam, basa, atau netral.

### 1. Jenis Garam yang Terhidrolisis

Ketika kalian melarutkan suatu garam dalam air, ada dua kemungkinan yang dapat terjadi, yaitu:

- Garam tidak bereaksi dengan air (tidak mengalami hidrolisis) sehingga harga pH air tidak berubah dan larutan tetap bersifat netral. Garam yang tidak mengalami hidrolisis berasal dari penetralan asam kuat dan basa kuat. Jadi, jenis garam ini tidak mengandung ion elektrolit lemah.
- Garam bereaksi dengan air (mengalami hidrolisis) menghasilkan ion  $\text{H}^+$  atau ion  $\text{OH}^-$  yang akan mempengaruhi pH air sehingga larutan akan bersifat asam atau basa. Garam yang mengalami hidrolisis berasal dari penetralan asam kuat dengan basa lemah atau basa kuat dengan asam lemah. Jadi, jenis garam ini mengandung ion elektrolit lemah.

Seperti kalian ketahui, garam dihasilkan dari reaksi antara asam dengan basa. Jadi, jika ditinjau dari asam dan basa asalnya, kalian akan menemui adanya empat jenis garam. Kita akan segera membahasnya satu per satu.

#### **a. Garam dari Asam Kuat dan Basa Kuat**

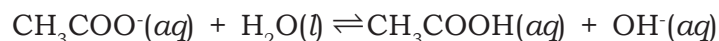
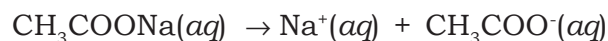
Garam yang berasal dari asam kuat dan basa kuat tidak mengalami hidrolisis karena garam ini akan terionisasi sempurna menjadi kation dan anionnya. Salah satu contoh adalah garam NaCl, yang terionisasi menjadi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  menurut persamaan berikut.



Baik ion  $\text{Na}^+$  maupun ion  $\text{Cl}^-$  tidak bereaksi dengan air sehingga tidak mengubah konsentrasi  $\text{H}^+$  dan konsentrasi  $\text{OH}^-$  dalam air. Jadi, larutan tetap bersifat netral dan harga pH larutan sama seperti pH air murni, yaitu 7. Contoh lain dari jenis garam ini misalnya,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ .

#### **b. Garam dari Asam Lemah dan Basa Kuat**

Garam yang berasal dari asam lemah dan basa kuat dapat mengalami hidrolisis sebagian dalam air (anion terhidrolisis, sedangkan kationnya tidak terhidrolisis). Salah satu contoh adalah garam  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , yang terionisasi menjadi ion  $\text{Na}^+$  dan ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dalam air. Ion  $\text{Na}^+$  tidak dapat bereaksi dengan air tetapi ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dapat bereaksi dengan air. Reaksi yang terjadi sebagai berikut.

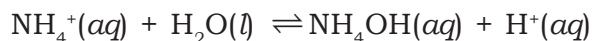


Ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  yang bereaksi dengan air menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  dan molekul  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Adanya ion  $\text{OH}^-$  akan meningkatkan konsentrasi  $\text{OH}^-$  dan menurunkan konsentrasi  $\text{H}^+$  dalam larutan sehingga pH larutan naik di atas 7 dan menyebabkan larutan bersifat basa.

Berdasarkan reaksi yang terjadi dalam hidrolisis jenis garam ini, hanya ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dari asam lemah yang terhidrolisis sehingga disebut sebagai hidrolisis sebagian. Jadi, garam yang berasal dari asam lemah dan basa kuat mengalami hidrolisis sebagian menghasilkan larutan yang bersifat basa ( $\text{pH} > 7$ ). Contoh lain dari jenis garam ini, misalnya  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ .

### c. Garam dari Asam Kuat dan Basa Lemah

Garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah juga mengalami hidrolisis sebagian. Salah satu contoh adalah garam  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , yang terionisasi menjadi ion  $\text{NH}_4^+$  dan ion  $\text{Cl}^-$ . Ion  $\text{Cl}^-$  tidak dapat bereaksi dengan air tetapi ion  $\text{NH}_4^+$  dapat bereaksi dengan air menghasilkan molekul  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan ion  $\text{H}^+$ . Reaksi yang terjadi sebagai berikut.

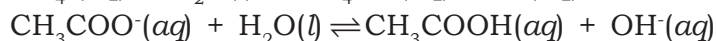
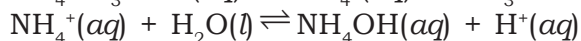


Adanya ion  $\text{H}^+$  akan meningkatkan konsentrasi  $\text{H}^+$  dan menurunkan konsentrasi  $\text{OH}^-$  dalam larutan sehingga pH larutan turun di bawah 7 dan menyebabkan larutan bersifat asam.

Dalam reaksi hidrolisis garam jenis ini, hanya ion  $\text{NH}_4^+$  dari basa lemah yang terhidrolisis sehingga dikatakan sebagai hidrolisis sebagian. Jadi, garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah akan mengalami hidrolisis sebagian menghasilkan larutan yang bersifat asam ( $\text{pH} < 7$ ). Contoh lain dari jenis garam ini, misalnya  $\text{AgNO}_3$  dan  $\text{CuSO}_4$ .

### d. Garam dari Asam Lemah dan Basa Lemah

Garam yang berasal dari asam lemah dan basa lemah, misalnya  $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$  dapat mengalami hidrolisis dan terionisasi menjadi ion  $\text{NH}_4^+$  dan ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ . Baik ion  $\text{NH}_4^+$  maupun ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dapat bereaksi dengan air sehingga dalam larutan dihasilkan ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{OH}^-$ . Reaksi yang terjadi dalam larutan sebagai berikut.



Ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{OH}^-$  sama-sama dihasilkan dalam hidrolisis garam jenis ini sehingga sifat larutan ditentukan oleh harga tetapan ionisasi asam ( $K_a$ ) dan tetapan ionisasi basa ( $K_b$ ). Oleh karena kedua ion garam dapat bereaksi dengan air, maka hidrolisis yang terjadi dikatakan sebagai hidrolisis total. Jadi, garam yang berasal dari asam lemah dan basa lemah mengalami hidrolisis total dan sifat larutannya ditentukan oleh harga  $K_a$  asam lemah dan  $K_b$  basa lemah.

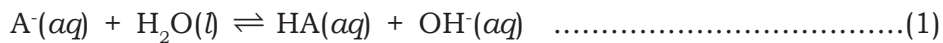
## 2. Harga pH Larutan Garam

Sebagaimana kalian ketahui, harga pH larutan ditentukan oleh konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{OH}^-$  dalam larutan. Pada reaksi hidrolisis garam, ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{OH}^-$  dihasilkan dari reaksi kesetimbangan

anion atau kation yang mengalami hidrolisis. Jadi, harga pH larutan garam ditentukan oleh anion dan kation dari asam lemah dan basa lemah. Untuk lebih jelasnya, mari kita tinjau reaksi kesetimbangan tiga jenis garam yang terhidrolisis.

**a. Garam dari Asam Lemah dan Basa Kuat**

Pada larutan garam ini, dimisalkan garam NaA, yang akan mengalami hidrolisis adalah anion dari asam lemah (A<sup>-</sup>). Hidrolisis anion ini terjadi menurut reaksi kesetimbangan berikut.



Tetapan kesetimbangan dari reaksi hidrolisis disebut tetapan hidrolisis (K<sub>h</sub>), yang dinyatakan sebagai berikut.

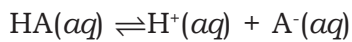
$$K_h = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} \dots\dots\dots(2)$$

Jika pembilang dan penyebut pada persamaan harga K<sub>h</sub> tersebut dikalikan dengan [H<sup>+</sup>], maka diperoleh persamaan:

$$K_h = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} \times \frac{[H^+]}{[H^+]}$$

$$K_h = \frac{[HA]}{[A^-][H^+]} \times [OH^-][H^+] \dots\dots\dots(3)$$

Molekul asam lemah (HA) terionisasi menurut kesetimbangan berikut.



$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \dots\dots\dots(4)$$

Jadi, harga tetapan hidrolisis dapat dinyatakan sebagai:

$$K_h = \frac{1}{K_a} \times K_w \dots\dots\dots(5)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2) ke persamaan (5), diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} = \frac{1}{K_a} \times K_w \dots\dots\dots(6)$$

Dari persamaan kesetimbangan hidrolisis, konsentrasi HA sama dengan konsentrasi OH<sup>-</sup> sehingga persamaan (6) menjadi:



$$= \frac{K_w}{K_a} \dots\dots\dots(7)$$

atau

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_a} \times [\text{A}^-]} \dots\dots\dots(8)$$

**keterangan:**

$K_w$  = tetapan ionisasi air

$K_a$  = tetapan ionisasi asam

$[\text{A}^-]$  = konsentrasi ion garam yang terhidrolisis

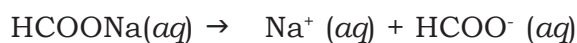
**Contoh Soal 6.3**

Tentukan pH larutan natrium format (HCOONa) 0,24 M. Jika diketahui  $K_a$  HCOOH adalah  $1,7 \times 10^{-4}$ .

**Penyelesaian:**

Natrium format (HCOONa) adalah garam dari asam lemah dan basa kuat. Karena garam bersifat basa, kita tentukan dahulu konsentrasi ion  $\text{OH}^-$  menggunakan Rumus:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_a} \times [\text{A}^-]}$$



$$0,24 \text{ M} \qquad \qquad \qquad 0,24 \text{ M}$$

$$[\text{HCOO}^-] = 0,24 \text{ M}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_a} \times [\text{HCOO}^-]}$$

$$= \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-14}}{1,7 \times 10^{-4}} \times 0,24}$$

$$= \sqrt{1,41 \times 10^{-4}} = 3,75 \cdot 10^{-6}$$

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\ &= -\log (3,75 \cdot 10^{-6}) \\ &= 6 - \log 3,75 = 5,43 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{pH} + \text{pOH} &= 14,00 \\ \text{pH} &= 14,00 - 5,43 \\ &= 8,57 \end{aligned}$$

Jadi, pH larutan HCOONa adalah 8,57.

$$\frac{[\text{OH}^-]^2}{[\text{A}^-]}$$

### b. Garam dari Asam Kuat dan Basa Lemah

Pada larutan garam ini, dimisalkan garam BCl, yang akan mengalami hidrolisis adalah kation dari basa lemah ( $B^+$ ) menurut reaksi kesetimbangan berikut.



Dengan penurunan rumus yang sama, harga tetapan hidrolisis dinyatakan sebagai berikut.

$$K_h = \frac{K_w}{K_b} \times [B^+]$$

Konsentrasi ion  $H^+$  ditentukan menggunakan rumus:

$$[H^+] = \sqrt{\frac{K_w}{K_b} \times [B^+]}$$

#### Keterangan:

$K_w$  = tetapan ionisasi air

$K_b$  = tetapan ionisasi basa

$[B^+]$  = konsentrasi ion garam yang terhidrolisis

### Contoh Soal 6.4

Berapakah pH larutan amonium klorida ( $NH_4Cl$ ), jika diketahui  $K_b NH_3 = 1,8 \times 10^{-5}$ ?

#### Penyelesaian:

Amonium klorida ( $NH_4Cl$ ) adalah garam yang berasal dari basa lemah dan asam kuat. Garam tersebut bersifat asam. Konsentrasi ion<sup>+</sup> ditentukan menggunakan rumus:

$$[H^+] =$$



$$0,1 \text{ M} \qquad 0,1 \text{ M}$$

$$[NH_4^+] = 0,1 \text{ M}$$

$$[H^+] = \sqrt{\frac{K_w}{K_b} \times [NH_4^+]}$$

$$= \sqrt{\frac{1 \times 10^{-14}}{1,8 \times 10^{-5}} \times 0,1}$$

$$= 7,48 \times 10^{-6}$$

$$\sqrt{\frac{K_w}{K_b} \times [B^+]}$$

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] \\ &= -\log (7,48 \times 10^{-6}) \\ &= 5,13 \end{aligned}$$

Jadi pH larutan adalah 5,13

### c. Garam dari Asam Lemah dan Basa Lemah

Pada larutan garam ini, baik kation maupun anion dari garam ini akan mengalami hidrolisis. Penentuan konsentrasi ion  $\text{H}^+$  untuk menentukan pH larutan menggunakan persamaan berikut.

$$[\text{H}^+] =$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa harga pH larutan garam yang berasal dari asam lemah dan basa lemah bergantung pada harga  $K_a$  dan  $K_b$  dari asam dan basa pembentuknya dan tidak bergantung pada konsentrasi kation maupun anionnya.

#### **Kilas Kimia**

Mengembangkan kecakapan personal

1. Jika  $K_a = K_b$ , maka larutan bersifat netral ( $\text{pH} = 7$ )
2. Jika  $K_a > K_b$ , maka larutan bersifat asam ( $\text{pH} < 7$ )
3. Jika  $K_a < K_b$ , maka larutan bersifat basa ( $\text{pH} > 7$ )

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** kalian, kerjakanlah Latihan 6.2 berikut.

### Latihan 6.2

1. Terdapat 250 mL  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,003. Jika  $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 2 \times 10^{-5}$ , tentukanlah pH larutan garam tersebut!
2. Jika 500 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  2 M direaksikan dengan 2 liter larutan  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  0,25 M,  $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 2 \times 10^{-5}$ , tentukan:
  - a. pH larutan masing-masing sebelum bereaksi!
  - b. pH larutan setelah bereaksi!
3. Terdapat 100 mL larutan  $\text{NaF}$  0,075 M. Jika  $K_a \text{HF} = 6,8 \times 10^{-4}$ , tentukanlah pH larutan tersebut!
4. Sebanyak 100 mL larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,01 M  $K_b = 10^{-5}$  direaksikan dengan 100 mL larutan  $\text{HBr}$  0,01 M. tentukan:
  - a. pH larutan masing-masing sebelum reaksi!
  - b. pH larutan setelah bereaksi!

$$\sqrt{\frac{K_a \times K_b}{K_b}}$$

## C. Pengendapan dan Hasil Kali Kelarutan

Pada pembahasan tentang asam dan basa, kalian telah dikenalkan lebih jauh dengan senyawa garam. Sebagaimana kalian ketahui, garam dihasilkan dari reaksi antara asam dan basa serta tergolong senyawa ionik. Senyawa garam akan larut dalam air dan terurai menjadi ion-ionnya. Bagaimanakah kelarutan garam dalam air? Apakah semua garam dapat larut dalam air? Pada pembahasan berikut, kalian akan diajak mencari tahu jawaban pertanyaan tersebut.

### 1. Kelarutan dan Hasil Kali Kelarutan

Pernahkah kalian melarutkan garam dapur? Ketika sedikit garam dapur ( $\text{NaCl}$ ) ditambahkan ke dalam segelas air, garam tersebut akan larut. Jika garam dapur terus-menerus ditambahkan ke dalam air, maka pada suatu saat garam tersebut tidak akan larut lagi. Hal itu berarti bahwa larutan garam dapur sudah mencapai konsentrasi maksimum yang dimungkinkan atau dikatakan jenuh. Ketika sudah terbentuk larutan jenuh, berapapun jumlah garam yang kalian tambahkan, garam tersebut hanya akan tenggelam di dasar air sebagai endapan kristal. Dari fakta inilah kemudian muncul istilah kelarutan.

Jadi, kelarutan (*solubility*,  $s$ ) dari zat terlarut merupakan jumlah maksimum zat terlarut yang akan larut dalam sejumlah tertentu pelarut. Kelarutan zat terlarut dalam pelarut tertentu bergantung pada suhu. Pada umumnya, kelarutan zat padat dalam air semakin tinggi dengan bertambahnya suhu. Beberapa garam sangat mudah larut, tetapi ada juga yang tidak larut atau sedikit larut. Kita hanya akan membahas lebih jauh tentang garam yang sedikit larut.

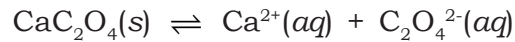
Dalam larutan jenuh yang mengandung garam yang sedikit larut akan terjadi kesetimbangan antara garam dengan ion-ionnya dalam larutan. Sebagai contoh, dalam larutan jenuh kalsium oksalat



Sumber: Dok. penerbit

Gambar 6.2 Larutan garam  $\text{NaCl}$  jenuh

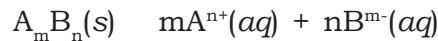
(CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) terjadi kesetimbangan antara CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> padat dengan ion Ca<sup>2+</sup> dan ion C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup> menurut reaksi berikut.



Tetapan kesetimbangan untuk kesetimbangan antara garam dengan ion-ionnya disebut tetapan hasil kali kelarutan (*solubility product constant*,  $K_{sp}$ ). Harga  $K_{sp}$  merupakan hasil kali konsentrasi kesetimbangan ion-ion dalam larutan. Jadi, tetapan kesetimbangan CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dinyatakan sebagai berikut.

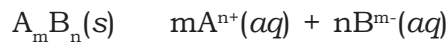
$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}][\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]$$

Secara umum, kesetimbangan yang terjadi dalam larutan jenuh senyawa ionik, A<sub>m</sub>B<sub>n</sub> yang sedikit larut dinyatakan dalam persamaan reaksi berikut.



$$K_{sp} = [\text{A}^{n+}]^m [\text{B}^{m-}]^n$$

Konsentrasi ion-ion dari garam yang sedikit larut didasarkan pada kelarutan garam tersebut. Jadi, besarnya konsentrasi ion-ion ini setara dengan harga kelarutan garam dalam larutan jenuh. Oleh karena itu, secara percobaan kelarutan dapat ditentukan dari harga  $K_{sp}$ . Coba kalian tinjau kembali persamaan kesetimbangan secara umum dalam larutan jenuh garam yang sedikit larut. Jika konsentrasi ion-ionnya dinyatakan sebagai kelarutan garam tersebut, maka hubungan antara kelarutan (s) dan  $K_{sp}$  dinyatakan sebagai berikut.



$$\begin{aligned} K_{sp} &= [\text{A}^{n+}]^m [\text{B}^{m-}]^n \\ &= (ms)^m (ns)^n \\ &= m^m n^n s^{(m+n)} \end{aligned}$$

### Contoh Soal 6.5

Pada suatu percobaan, diketahui kelarutan kalsium sulfat (CaSO<sub>4</sub>) adalah 0,67 g/L. Berapakah harga  $K_{sp}$  CaSO<sub>4</sub> tersebut?

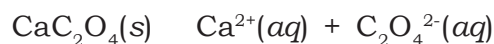
**Penyelesaian:**

Untuk menentukan  $K_{sp}$  CaSO<sub>4</sub>, hitung dahulu kelarutan CaSO<sub>4</sub> dalam mol/L.

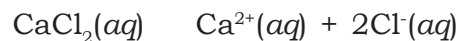
$$\begin{aligned}
s \text{ CaSO}_4 &= 0,67 \text{ g/L} \\
&= 0,67 \text{ g/L} \\
&\quad 36 \text{ g/mol} \\
s &= 4,93 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} = 4,93 \times 10^{-3} \text{ M} \\
\text{CaSO}_4(s) &\quad \text{Ca}^{2+}(aq) \quad + \quad \text{SO}_4^{2-}(aq) \\
4,93 \times 10^{-3} \text{ M} &\quad 4,93 \cdot 10^{-3} \text{ M} \quad 4,93 \cdot 10^{-3} \text{ M} \\
K_{sp} &= [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] \\
&= (4,93 \cdot 10^{-3})(4,93 \cdot 10^{-3}) \\
&= 2,43 \cdot 10^{-5} \\
\text{Jadi } K_{sp} \text{ CaSO}_4 &\text{ adalah } 2,43 \cdot 10^{-5}
\end{aligned}$$

## 2. Pengaruh Ion Senama pada Kelarutan

Untuk mengetahui pengaruh ion senama pada kelarutan, kalian tinjau kembali larutan jenuh kalsium oksalat,  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ . Apa yang akan terjadi jika ke dalam larutan jenuh tersebut kalian tambahkan larutan kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ )? Larutan jenuh  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  mengalami kesetimbangan seperti berikut.



Kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) merupakan garam yang mudah larut dalam air dan terurai menjadi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan ion  $\text{Cl}^-$  menurut reaksi berikut.



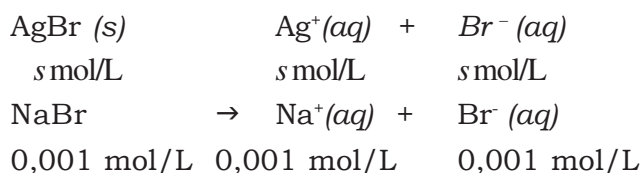
Larutan  $\text{CaCl}_2$  mempunyai ion senama dengan larutan jenuh  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , yaitu ion  $\text{Ca}^{2+}$ . Jika larutan  $\text{CaCl}_2$  ditambahkan ke dalam larutan  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , maka akan terjadi peningkatan konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam larutan. Sesuai dengan azas Le Chatelier, penambahan konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+}$  akan menggeser kesetimbangan ke kiri sehingga mengurangi jumlah  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  yang larut. Jadi, dapat disimpulkan bahwa ion senama akan menurunkan kelarutan garam.

### Contoh Soal 6.6

Hitunglah kelarutan  $\text{AgBr}$  dalam larutan  $\text{NaBr}$  0,001 M!  
Diketahui  $K_{sp}$   $\text{AgBr}$  pada  $25^\circ\text{C}$  adalah  $7,7 \cdot 10^{-13}$ .

**Penyelesaian:**

Misal kelarutan AgBr dalam NaBr 0,001M adalah  $s$  mol/L



Jadi dalam larutan terdapat:

$$\begin{aligned}
 [\text{Ag}^+] &= s \text{ mol/L} \\
 [\text{Br}^-] &= (s + 0,01 \text{ mol/L})
 \end{aligned}$$

Karena  $[\text{Br}^-]$  yang berasal dari AgBr sangat kecil dibandingkan  $[\text{Br}^-]$  dari NaBr, maka  $[\text{Br}^-]$  dari AgBr dapat diabaikan.

$$\begin{aligned}
 \text{jadi, } [\text{Ag}^+] &= s \text{ mol/L} \\
 [\text{Br}^-] &= (s + 0,01 \text{ mol/L}) \\
 \text{AgBr} &= [\text{Ag}^+][\text{Br}^-] \\
 7,7 \cdot 10^{-13} &= s(0,001) \\
 s &= 7,7 \cdot 10^{-10}
 \end{aligned}$$

Jadi kelarutan AgBr dalam NaBr adalah  $7,7 \cdot 10^{-10}$  mol/L.



### 3. Hubungan Hasil Kali Kelarutan dan Pengendapan

Sebagaimana kalian ketahui, jika larutan jenuh direaksikan dengan larutan lain yang mempunyai ion senama, maka kelarutan garam dari larutan jenuh tersebut menurun. Menurunnya kelarutan garam menunjukkan bahwa sejumlah tertentu garam mengendap. Ketika kalian menambahkan beberapa tetes larutan  $\text{CaCl}_2$  ke dalam larutan jenuh  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , garam  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  akan segera mengendap. Mengapa garam  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  dapat mengendap? Bagaimanakah hubungan antara harga  $K_{sp}$  dengan endapan yang terbentuk?

Harga  $K_{sp}$  menunjukkan kelarutan senyawa ionik dalam air. Jadi, dari harga  $K_{sp}$ , kalian dapat meramalkan apakah dalam suatu reaksi dapat terbentuk endapan atau tidak. Jika ditinjau senyawa ionik,  $\text{A}_m\text{B}_n$  yang mengandung ion  $\text{A}^{n+}$  dan ion  $\text{B}^{m-}$ . Untuk meramalkan apakah endapan  $\text{A}_m\text{B}_n$  dapat terbentuk atau tidak ketika kalian mereaksikan dua larutan yang mengandung ion  $\text{A}^{n+}$  atau ion  $\text{B}^{m-}$ , maka kalian harus mengetahui hasil kali ion ( $Q_{sp}$ ) dari ion-ion tersebut, yang dinyatakan sebagai berikut.

$$Q_{sp} = [A^{n+}]^m [B^{m-}]^n$$

Dengan membandingkan harga  $K_{sp}$  dan  $Q_{sp}$ , kalian akan dapat meramalkan terbentuk tidaknya endapan  $A_m B_n$ .

Jika  $Q_{sp} = K_{sp}$ , maka akan terbentuk larutan jenuh  $A_m B_n$ .

Jika  $Q_{sp} > K_{sp}$ , maka akan terbentuk endapan  $A_m B_n$ .

Jika  $Q_{sp} < K_{sp}$ , maka belum terbentuk larutan jenuh maupun garam  $A_m B_n$ .

### Contoh Soal 6.7

Sebanyak 200 mL larutan BaCl<sub>2</sub> 0,004 M ditambahkan pada 300 mL larutan K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,016 M. Perkirakan apakah terbentuk endapan BaSO<sub>4</sub>? Diketahui  $K_{sp}$  BaSO<sub>4</sub> adalah  $1,1 \cdot 10^{-10}$ .

#### Penyelesaian:

BaCl<sub>2</sub> 200 mL, 0,004 M

mol BaCl<sub>2</sub> = 200 mL · 0,004 M = 0,8 mmol

mol Ba<sup>2+</sup> = 0,8 mmol

K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 300 mL, 0,016 M

mol SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 4,8 mmol

Volume campuran = (200 + 300)mL = 500 mL

Mula-mula kita hitung konsentrasi Ba<sup>2+</sup> dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dalam 500 mL campuran, yaitu:

$$[Ba^{2+}] = \frac{0,8 \text{ mmol}}{500 \text{ mL}} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[SO_4^{2-}] = \frac{4,8 \text{ mmol}}{500 \text{ mL}} = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Untuk memperkirakan terbentuk endapan BaSO<sub>4</sub> atau tidak, kita bandingkan  $Q_{sp}$  dengan  $K_{sp}$  BaSO<sub>4</sub>.

$$\frac{0,8 \text{ mmol}}{500 \text{ mL}}$$



$$\begin{aligned}
 Q_{sp} \text{ BaSO}_4 &= [\text{Ba}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}] \\
 &= (1,6 \cdot 10^{-3}) (9,6 \cdot 10^{-3}) \\
 &= 1,54 \cdot 10^{-6}
 \end{aligned}$$

$$K_{sp} \text{ BaSO}_4 = 1,1 \cdot 10^{-10}$$

$Q_{sp} > K_{sp}$  maka pada campuran akan terbentuk endapan  $\text{BaSO}_4$ .

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** kalian, kerjakanlah Latihan 6.3 berikut.

### Latihan 6.3

- Diketahui  $K_{sp} \text{ Ag}_2\text{CrO}_4$  pada  $25^\circ\text{C}$  adalah  $2,4 \cdot 10^{-12}$ . Tentukan:
  - kelarutan  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  pada suhu  $25^\circ\text{C}$ .
  - jumlah mol ion  $\text{Ag}^+$  dalam 100 mL larutan  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ !
- Diketahui  $K_{sp} \text{ Al(OH)}_3 = 3,7 \cdot 10^{-15}$ . Berapakah kelarutannya dalam:
  - air
  - larutan yang mempunyai pH = 12
- $K_{sp} \text{ PbCl}_2 = 1,6 \cdot 10^{-5}$ . Jika 100 mL  $\text{Pb(NO}_3)_2$  0,01 M ditambah dengan 400 mL  $\text{AlCl}_3$  0,1 M. Apakah terbentuk endapan  $\text{PbCl}_2$ ? Jelaskan!
- Diketahui  $K_{sp} \text{ Mg(OH)}_2 = 6 \cdot 10^{-12}$ . Jika larutan  $\text{MgCl}_2$  0,015 M dinaikkan pH-nya, tentukanlah pH pada saat mulai terbentuk endapan!

$\frac{\text{mol as}}{\text{mol ba}}$

### Rangkuman

- Larutan penyangga adalah larutan yang dapat mempertahankan harga pH.
- Jenis larutan penyangga:
  - Larutan penyangga asam lemah dan basa konjugatnya.  
Konsentrasi  $\text{H}^+$  dihitung dengan rumus:

$$[\text{H}^+] = K_a$$

- b. Larutan penyangga basa lemah dan asam konjugatnya. Konsentrasi  $\text{OH}^-$  dihitung dengan rumus:

$$[\text{OH}^-] = K_b$$

3. Harga pH larutan penyangga bergantung pada perbandingan konsentrasi asam lemah dan basa konjugatnya atau basa lemah dan asam konjugatnya.
4. Harga pH tidak berubah dengan penambahan asam, basa maupun pengenceran.
5. Cairan tubuh memiliki rentang harga pH tertentu yang dipertahankan oleh larutan penyangga tertentu.
6. Hidrolisis garam adalah reaksi peruraian garam oleh air.
7. Jenis hidrolisis garam dan sifat larutan garam:
  - a. Hidrolisis sebagian:
    - 1) Garam berasal dari asam lemah dan basa kuat. Larutan bersifat basa ( $\text{pH} > 7$ ).
    - 2) Garam berasal dari basa lemah dan asam kuat. Larutan bersifat asam ( $\text{pH} < 7$ ).
  - b. Hidrolisis total: garam berasal dari asam lemah dan basa lemah. Sifat larutan ditentukan oleh harga  $K_a$  atau  $K_b$ .
    - 1) Jika  $K_a = K_b$ , maka larutan bersifat netral ( $\text{pH} = 7$ )
    - 2) Jika  $K_a > K_b$ , maka larutan bersifat asam ( $\text{pH} < 7$ )
    - 3) Jika  $K_a < K_b$ , maka larutan bersifat basa ( $\text{pH} > 7$ )
8. Kelarutan ( $s$ ) adalah jumlah maksimum zat terlarut yang larut dalam sejumlah pelarut. Kelarutan bergantung pada suhu dan merupakan ukuran jenuh tidaknya larutan garam.
9. Kelarutan ditentukan oleh tetapan hasil kali kelarutan ( $K_{sp}$ ) garam tersebut.
10. Penambahan ion senama akan menurunkan kelarutan garam.
11. Harga  $K_{sp}$  dapat digunakan untuk meramalkan terbentuk tidaknya endapan reaksi.

$\frac{\times \text{ mol basa lemah}}{\text{mol asam konjugat}}$

## Evaluasi

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

- Perhatikan pasangan larutan berikut ini!
  - 50 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M dan 50 mL  $\text{NaOH}$  0,1 M
  - 50 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M dan 100 mL  $\text{NaOH}$  0,1 M
  - 50 mL  $\text{H}_2\text{CO}_3$  0,2 M dan 100 mL  $\text{NH}_3(\text{aq})$  0,1 M
  - 50 mL  $\text{HCl}$  0,1 M dan 50 mL  $\text{NH}_3(\text{aq})$  0,2 M
  - 50 mL  $\text{HCl}$  0,1 M dan 50 mL  $\text{NaOH}$  0,2 M

Pasangan-pasangan yang pH-nya tidak akan berubah apabila ditambah sedikit larutan basa kuat atau asam kuat adalah. . . .

- A. 1 dan 2  
B. 1 dan 3  
C. 1 dan 4  
D. 2 dan 3  
E. 1 dan 5

- Larutan 25 mL  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,2 M ( $K_b = 10^{-5}$ ), dicampurkan dengan 25 mL larutan  $\text{HCl}$  0,1 M. pH larutan yang terjadi adalah. . . .

- A. 5,0  
B. 5,5  
C. 8,5  
D. 9,0  
E. 13,0

- Diketahui:  $K_{sp} \text{Ag}_2\text{CO}_3 = 8 \cdot 10^{-12}$   
 $K_{sp} \text{AgCl} = 2 \cdot 10^{-10}$   
 $K_{sp} \text{Ag}_3\text{PO}_4 = 1 \cdot 10^{-16}$   
 $K_{sp} \text{AgI} = 8,5 \cdot 10^{-17}$   
 $K_{sp} \text{AgCN} = 1,2 \cdot 10^{-16}$

Berdasarkan data tersebut, garam yang paling besar kelarutannya dalam air adalah. . . .

- A.  $\text{AgCl}$   
B.  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$   
C.  $\text{AgI}$   
D.  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$   
E.  $\text{AgCN}$

- Ke dalam 50 mL larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,2 M  $K_b \text{NH}_4\text{OH} = 2 \cdot 10^{-5}$  dicampurkan dengan 50 mL larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,08 M, maka pH larutan yang terjadi adalah. . . .

- A. 5  
B. 9  
C.  $6 - \log 5$   
D.  $8 + \log 5$   
E.  $5 + \log 6$

x



**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!**

1. Jelaskan bagaimana larutan penyangga dapat mempertahankan harga pH!
2. Tentukan pH campuran dari 50 mL NaOH 0,2 M dengan 100 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M ( $K_a = 10^{-5}$ )!
3. Tentukan pH-nya jika 1 mL HCL ditambahkan ke dalam
  - a. 100 mL air
  - b. 100 mL larutan HCl 0,1 M
  - c. 100 mL larutan NaOH 0,1 M
  - d. 100 mL larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,1 M ( $K_b = 10^{-5}$ )
  - e. 100 mL larutan yang mengandung  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,1 M dan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,1 M!
4. Kristal natrium asetat ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) sebanyak 5,904 gram diberikan ke dalam air, sehingga volume larutan menjadi 100 mL. Apabila diketahui  $K_w = 10^{-14}$ ,  $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 1,8 \times 10^{-5}$  dan  $M_r \text{CH}_3\text{COOH} = 82$ , maka tentukan pH larutan tersebut!
5.  $K_{sp} \text{Ca(OH)}_2 = 4 \times 10^{-6}$ , berapa kelarutan  $\text{Ca(OH)}_2$  dalam larutan NaOH yang pH-nya 13?

# Bab VII

## Sistem Koloid

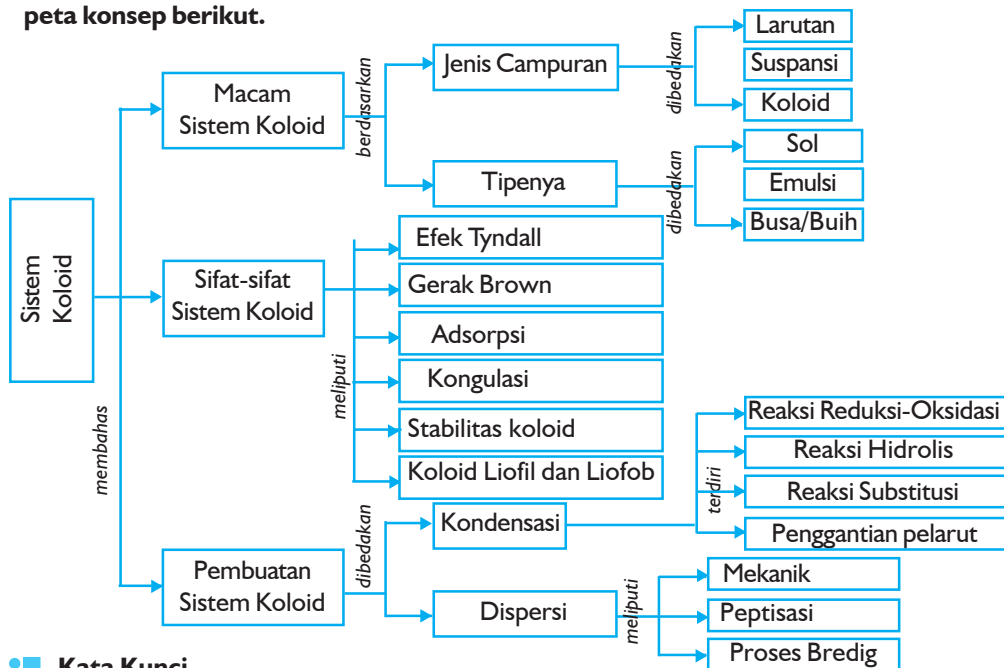
Sumber gambar: Ilmu Pengetahuan Populer

### Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mengidentifikasi sistem dan sifat koloid serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

### Peta Konsep

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut, perhatikanlah peta konsep berikut.



### Kata Kunci

Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini. Berikut ini adalah kata kunci dalam bab VII.

Adsorpsi	Sistem koloid	Fase terdispersi	Busa
Efek Tyndall	Dispersi	Medium pendispersi	Gerak Brown
Sol	Koagulasi	Kondensasi	Emulsi



Sumber: *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*

**Gambar 7.1** *Cat lukis termasuk koloid*

Cobalah kalian perhatikan zat-zat yang ada di sekitar kalian. Tanah, air, pasir, debu, awan, cat, susu yang kalian minum, gula, garam. Tergolong apakah zat-zat tersebut? Kalian tentu masih ingat pembahasan mengenai zat murni dan campuran, bukan? Ciri khas dari zat murni adalah komposisinya yang tetap. Semua unsur dan senyawa tergolong ke dalam zat murni. Air, gula, dan garam memiliki komposisi yang tetap. Jadi, mereka termasuk zat-zat murni. Sebaliknya, campuran memiliki komposisi yang berbeda-beda. Tanah, pasir, debu, awan, cat, dan susu memiliki komposisi yang berbeda sehingga mereka digolongkan ke dalam campuran. Kalian tentu dapat menyebutkan contoh-contoh yang lainnya, bukan?

Komposisi yang berbeda dalam suatu campuran mengakibatkan terbentuknya campuran yang berbeda-beda pula. Bagaimanakah membedakan campuran satu dengan yang lainnya? Apa keistimewaan dari masing-masing campuran tersebut? Nah, pada bahasan berikut, kalian akan dikenalkan dengan beberapa jenis campuran, terutama tentang sistem koloid yang sangat berguna dalam kehidupan sehari-hari.

## A. Macam Sistem Koloid

### 1. Jenis Campuran

Campuran terdiri dari zat atau partikel yang terdispersi (tersebar) di dalam zat lain sehingga disebut juga sistem dispersi. Dalam sistem dispersi, zat yang didispersikan disebut **fase terdispersi**, sedangkan zat dimana partikel terdispersi disebut **medium pendispersi**. Partikel-partikel zat yang terdispersi dalam campuran memiliki ukuran yang berbeda-beda. Berdasarkan perbedaan ukuran partikelnya, maka campuran dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu larutan, suspensi, dan koloid.

#### a. Larutan

Kalian tentu pernah melarutkan gula atau garam ke dalam air, bukan? Jika kalian pernah sakit gigi dan berobat ke dokter gigi, dokter akan menyuruh kalian untuk berkumur dengan air garam. Air garam juga dapat digunakan sebagai obat sakit diare. Bagaimanakah wujud dari campuran yang terbentuk antara gula atau garam dengan air tersebut? Gula atau garam dan air akan membentuk campuran yang homogen dan stabil dimana gula atau garam tersebar secara merata dalam air. Campuran yang homogen inilah yang kalian sebut sebagai **larutan** (atau sering disebut juga larutan sejati).

Dalam larutan, fase terdispersi dan medium pendispersinya biasa dikenal sebagai *solute* dan *solven*. Jadi, gula dan garam merupakan *solute*, sedangkan air adalah *solven*nya. Partikel-partikel dalam larutan baik *solute* maupun *solven* berupa atom, ion-ion atau molekul dengan ukuran yang sangat kecil, lebih kecil dari 1 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). Dari ketiga jenis campuran, ukuran dari partikel larutan yang paling kecil sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang bahkan menggunakan mikroskop dengan tingkat pembesaran yang tinggi (mikroskop ultra). Oleh karena sifatnya yang homogen dan stabil, larutan tidak akan mengendap walaupun didiamkan untuk waktu yang lama sehingga tidak bisa dipisahkan.

#### b. Suspensi

Anak kecil biasanya senang bermain-main dengan tanah atau pasir. Bahkan ada yang kreatif membuat kue mainan dari campuran tanah dan air. Pernahkah kalian melihat orang membuat batu bata dari tanah? Mereka mencampurkan tanah dan air dengan perbandingan tertentu. Campuran tanah atau pasir dengan air



termasuk salah satu contoh suspensi. Fase terdispersinya adalah tanah dan pasir, medium pendispersinya adalah air. Jadi, **suspensi** (atau disebut juga dispersi kasar) merupakan jenis campuran dengan partikel terdispersi yang berukuran relatif besar tersebar dalam medium pendispersinya.

Ukuran dari partikel suspensi paling besar dibandingkan dengan jenis campuran yang lain, yaitu lebih besar dari 100 nm. Oleh karena itu, partikel suspensi dapat dilihat dengan mata telanjang. Suspensi merupakan campuran yang heterogen dan tidak stabil. Jika suspensi didiamkan selama beberapa waktu, partikel-partikel suspensi akan mengendap karena pengaruh gaya gravitasi sehingga dapat dipisahkan dengan mudah. Kecepatan pengendapan bergantung dari ukuran partikel suspensi. Semakin besar ukuran partikel, pengendapan berlangsung lebih cepat.

Campuran senyawa kimia yang hasil reaksinya berupa endapan juga termasuk contoh suspensi. Pemisahan endapan yang tersuspensi di laboratorium dapat dilakukan dengan proses penyaringan (*filtrasi*) menggunakan kertas saring. Endapan hasil reaksi akan tertinggal di kertas saring. Untuk mempercepat proses pengendapan dapat juga digunakan alat yang disebut *sentrifuse*.

### c. **Koloid**

Jika kalian mencampurkan pati dengan air, butir-butir pati akan tersebar secara merata dalam air dan diperoleh suatu campuran keruh yang heterogen. Begitu pula jika kalian membuat susu bubuk. Secara fisik, campuran ini tidak seperti larutan maupun suspensi. Jadi, kedua macam campuran ini termasuk dalam jenis campuran yang lain, yang disebut koloid.

Istilah koloid pertama kali dikenalkan oleh **Thomas Graham** pada tahun 1861. Pada waktu itu, Graham mengamati zat pati atau gelatin yang berupa kristal tapi tidak berdifusi melalui membran, tidak seperti kristaloid pada umumnya. Oleh karena itulah, zat seperti pati dan gelatin ini kemudian dikenal sebagai koloid.

Koloid terdiri dari kumpulan banyak atom, ion, atau molekul (makromolekul). Partikel koloid memiliki ukuran lebih besar dari larutan tetapi lebih kecil dari suspensi, yaitu antara 1 nm sampai 100 nm. Jadi, sistem **koloid** merupakan campuran yang ukuran partikel terdispersinya berada di antara larutan dan suspensi. Meskipun ukuran partikel koloid lebih besar daripada larutan, tapi partikel ini tidak bisa dilihat dengan mata telanjang dan hanya bisa dilihat menggunakan mikroskop ultra.

Kebanyakan zat-zat yang ada di sekitar kalian berada dalam keadaan koloid. Kabut, awan, debu, asap, santan, selai, agar-agar, jelly, cat, tinta merupakan beberapa contoh koloid yang biasa kalian temui sehari-hari. Kalian tentu dapat menyebutkan contoh-contoh yang lain. Beberapa koloid ada yang tampak seperti larutan, misalnya agar-agar yang masih cair atau larutan pati yang encer. Tetapi hampir semuanya tampak berbeda dari larutan maupun suspensi. Koloid merupakan campuran yang relatif stabil sehingga cenderung tidak akan mengendap.

**Tabel 7.1 Perbedaan Ciri Larutan, Koloid, dan Suspensi**

Ciri	Larutan	Koloid	Suspensi
Ukuran	< 1nm	1 – 100 nm	> 100 nm
Fisik	Jernih	Jernih-keruh	Keruh
Stabilitas	Sangat stabil (tidak mengendap)	Relatif stabil (tidak mengendap)	Tidak stabil (mengendap)
Penyaringan	Tidak dapat disaring dengan kertas saring maupun membran semipermeabel	Tidak dapat disaring dengan kertas saring, tetapi dapat disaring dengan membran semipermeabel	Dapat disaring dengan kertas saring

Sumber: Kimia Universitas Azas dan Struktur Jilid 1

Untuk lebih menumbuhkan semangat **inovasi, kreativitas, dan berpikir kritis** kalian, lakukanlah Percobaan 7.1 berikut.

### Percobaan 7.1

#### Tujuan:

Membuat beberapa jenis campuran dan membedakannya ke dalam larutan, koloid, dan suspensi.

#### Alat:

1. Gelas ukur 100 mL
2. Gelas kimia 100 mL
3. Erlenmeyer 250 mL
4. Batang pengaduk
5. Spatula
6. Corong dan kertas saring

#### Bahan:

- |                           |               |
|---------------------------|---------------|
| 1. Air (H <sub>2</sub> O) | 4. Pati kanji |
| 2. Pasir halus            | 5. Gula pasir |
| 3. Tanah                  |               |

**Cara kerja:**

1. Siapkan empat buah gelas kimia dan masing-masing diisi dengan air sebanyak 100 mL.
2. Masukkan masing-masing 1 spatula pasir halus, tanah, pati kanji, dan gula pasir ke dalam keempat gelas kimia tersebut.
3. Keempat campuran diaduk sampai merata dan amati larut tidaknya zat yang dicampurkan.
4. Saringlah keempat campuran menggunakan kertas saring dan amati ada tidaknya residu pada kertas saring.

**Data Pengamatan:**

Jenis Campuran	Kelarutan (larutan atau tidak)	Kestabilan (memisah atau tidak)	Residu (ada atau tidak)
Pasir halus dan air	.....	.....	.....
Tanah dan air	.....	.....	.....
Pati kanji dan air	.....	.....	.....
Gula dan air	.....	.....	.....

**Pertanyaan:**

1. Campuran larutan mana yang keruh dan yang bening?
2. Hasil penyaringan mana yang filtratnya bening?
3. Buatlah kesimpulan dari percobaan kalian tersebut!

## 2. Tipe Sistem Koloid

Pengelompokan sistem koloid didasarkan pada wujud fase terdispersi dan medium pendispersinya. Zat yang jumlahnya sedikit disebut fasa terdispersi (fasa dalam), sedangkan zat yang jumlahnya banyak disebut medium pendispersi (fase luar). Baik fase terdispersi maupun medium pendispersi dapat berwujud padat, cair, atau gas. Akan tetapi, untuk gas yang terdispersi dalam gas tidak dapat menghasilkan koloid, sebab semua gas bercampur secara homogen sehingga akan berupa larutan dengan sesamanya. Berdasarkan wujud fase terdispersi dan medium pendispersi, maka sistem koloid dikelompokkan ke dalam tiga tipe utama, yaitu sol, emulsi, dan busa.

### a. Sol

Sol merupakan sistem koloid yang fase terdispersinya berupa zat padat yang didispersikan dalam padatan, cairan atau gas. Jadi, sol dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan medium pendispersinya, yaitu:

- 1) Jika medium pendispersinya berupa zat padat, maka sistem koloidnya disebut **sol padat**. Sebagai contoh adalah intan hitam, dan kaca rubi.
- 2) Jika medium pendispersinya berupa zat cair, maka sistem koloidnya disebut **sol** atau **gel**. Misalnya, cat, selai, jelly, dan pati dalam air.
- 3) Jika medium pendispersinya berupa gas, maka sistem koloidnya disebut **aerosol padat**. Misalnya, debu dan asap.

### b. Emulsi

Emulsi merupakan sistem koloid yang fase terdispersinya berupa zat cair yang didispersikan dalam padatan, cairan, atau gas. Jadi, emulsi dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan medium pendispersinya.

- 1) Jika medium pendispersinya berupa zat padat, maka sistem koloidnya disebut **emulsi padat**. Sebagai contoh keju, di mana lemak mentega didispersikan dalam kasein (protein susu) dan mentega. Ada juga jenis emulsi padat yang disebut sebagai **gel**. Gel merupakan sistem koloid yang setengah kaku (antara padat dan cair). Misalnya gelatin dan silika gel.
- 2) Jika medium pendispersinya berupa zat cair, maka sistem koloidnya disebut **emulsi**. Misalnya, susu dan mayones, di mana ketiganya terdiri dari minyak yang terdispersi dalam air.
- 3) Jika medium pendispersinya berupa gas, maka sistem koloidnya disebut **aerosol cair**. Sebagai contoh adalah kabut dan awan, di mana partikel-partikel air terdispersi dalam udara, produk industri dalam bentuk spray (semprot), seperti *hairspray*, pengharum ruangan, obat nyamuk semprot.

### c. Busa atau Buih

Busa atau buih merupakan sistem koloid yang fase terdispersinya berupa gas yang didispersikan dalam padatan atau cairan. Jadi, busa hanya dibedakan menjadi dua jenis.

- 1) Jika medium pendispersinya berupa zat padat, maka sistem koloidnya disebut **busa padat**. Misalnya, batu apung dan karet busa.

- 2) Jika medium pendispersinya berupa zat cair, maka sistem koloidnya disebut **busa**. Sebagai contoh adalah krim kocok dan busa sabun.

**Tabel 7.2 Tipe Sistem Koloid**

Fase Terdispersi	Medium Pendispersi	Jenis Koloid	Contoh
Padat	Padat	Sol padat	Intan hitam, kaca rubi
	Cair	Sol	Cat, selai, pati dalam air
	Gas	Aerosol padat	Debu, asap
Cair	Padat	Emulsi padat	Keju, mentega
	Cair	Emulsi	Susu, mayones
	Gas	Aerosol cair	Kabut, awan
Gas	Padat	Busa padat	Batu apung, karet busa
	Cair	Busa	Krim kocok, busa sabun

Sumber: Kimia untuk Universitas Jilid 1

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan sosial** kalian, kerjakanlah tugas berikut.

### Tugas

Diskusikan dengan teman sebangku kalian tentang perbedaan antara larutan, koloid, dan suspensi! Cobalah data zat-zat yang ada di sekitar kalian yang tergolong larutan, koloid, dan suspensi, minimal 10 jenis zat! Kumpulkan pada guru!

## B. Sifat-sifat Koloid

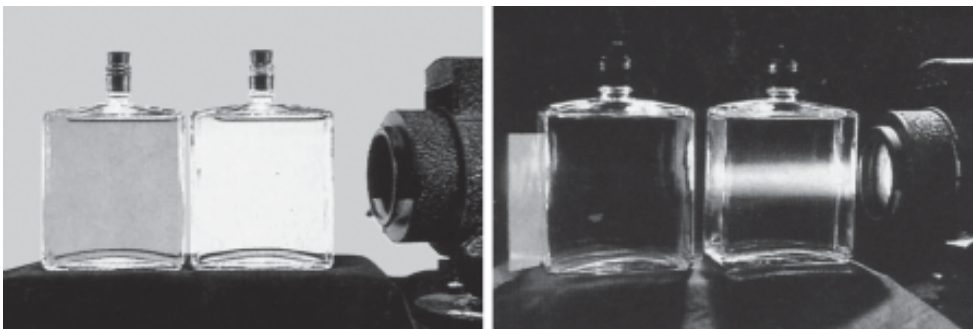
Sistem koloid memiliki sifat-sifat yang khas, yang membedakannya dari campuran yang lain. Berikut ini akan dijelaskan empat sifat koloid, yaitu efek Tyndall, gerak Brown, adsorpsi, dan koagulasi.

### 1. Efek Tyndall

Coba kalian perhatikan cahaya matahari yang masuk ke dalam kamar kalian melalui ventilasi jendela di pagi hari. Apa yang kalian lihat? Partikel-partikel debu beterbangan di udara, bukan? Setiap

saat partikel debu juga beterbangan di sekitar kalian namun karena ukurannya yang sangat kecil, maka tidak terlihat oleh mata biasa. Mengapa partikel debu bisa terlihat ketika ada berkas cahaya? Ternyata, cahaya yang melewati partikel debu akan dihamburkan oleh debu tersebut sehingga debu jadi bisa terlihat.

Penelitian tentang sifat koloid yang dapat menghamburkan cahaya dilakukan oleh **Tyndall**. Oleh karena itulah, peristiwa penghamburan cahaya oleh partikel koloid ini disebut sebagai **efek Tyndall**. Partikel koloid dapat menghamburkan cahaya karena ukurannya yang cukup besar. Tidak seperti koloid, larutan sejati tidak dapat menghamburkan cahaya. Sebenarnya larutan sejati juga dapat menghamburkan cahaya karena pada dasarnya semua gas dan cairan dapat menghamburkan cahaya. Oleh karena ukuran partikelnya sangat kecil maka sifat penghamburan cahaya oleh partikel larutan juga sangat kecil sehingga tidak bisa dideteksi. Sebagai contoh, jika kalian melewatkan seberkas cahaya pada larutan pati (larutan koloid), maka lintasan cahaya tersebut akan tampak melewati larutan karena dihamburkan oleh partikel-partikel pati dalam larutan tersebut. Sebaliknya, ketika percobaan yang sama dilakukan pada larutan garam (larutan sejati), berkas cahaya tersebut tidak tampak. Dengan adanya efek Tyndall ini, kalian dapat membedakan koloid dan larutan dengan mudah.



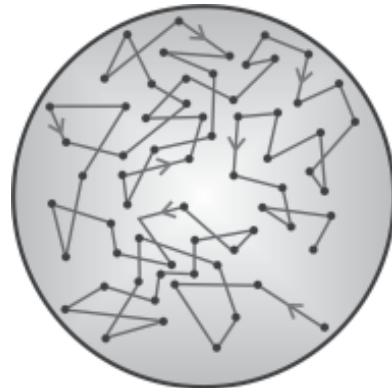
**Sumber:** General Chemistry

**Gambar 7.2** Cara membedakan larutan dan koloid dengan efek Tyndall

Beberapa contoh lain dari efek Tyndall ini dapat kalian amati pada warna langit siang hari. Penghamburan cahaya oleh molekul udara di atmosfer menyebabkan langit berwarna biru. Jika kalian mengendarai kendaraan bermotor dan lewat jalan yang berkabut, maka cahaya kendaraan bermotor akan dihamburkan oleh kabut sehingga cahaya lampu tampak lebih terang.

## 2. Gerak Brown

Jika kalian mengamati suatu sistem koloid menggunakan mikroskop ultra, maka kalian akan melihat partikel-partikel koloid bergerak terus-menerus secara acak (tidak beraturan) dalam lintasan lurus yang berkelu-liku. Gerak acak dari partikel koloid ditemukan pertama kali oleh ahli botani dari Inggris yang bernama **Robert Brown** (1827) berdasarkan pengamatannya pada gerak partikel serbuk sari dalam suatu cairan. Oleh karena itulah, gerak acak partikel koloid dalam medium pendispersi ini kemudian dikenal sebagai **gerak Brown**.



Sumber: *Systemkoloid.tripod.com*

**Gambar 7.3** Gerak Brown yang terjadi pada partikel pada koloid

Partikel-partikel dalam suatu zat selalu bergerak dan gerakan itu menghasilkan tumbukan antarpartikel itu sendiri dari segala arah.

Gerak Brown terjadi karena adanya tumbukan antara molekul partikel pendispersi terhadap partikel koloid. Banyaknya tumbukan oleh partikel pendispersi pada satu sisi partikel koloid tidak sama dengan tumbukan pada sisi yang lain sehingga dihasilkan gerak yang tidak beraturan dari partikel koloid. Kecepatan gerak partikel koloid berbanding terbalik dengan ukuran partikel koloid. Makin besar partikelnya makin berkurang kecepatannya. Gerak Brown juga dipengaruhi oleh suhu sistem koloid. Kenaikan suhu dari sistem koloid akan meningkatkan kecepatan gerak partikel pendispersi. Akibatnya gerakan partikel koloid juga akan semakin cepat.

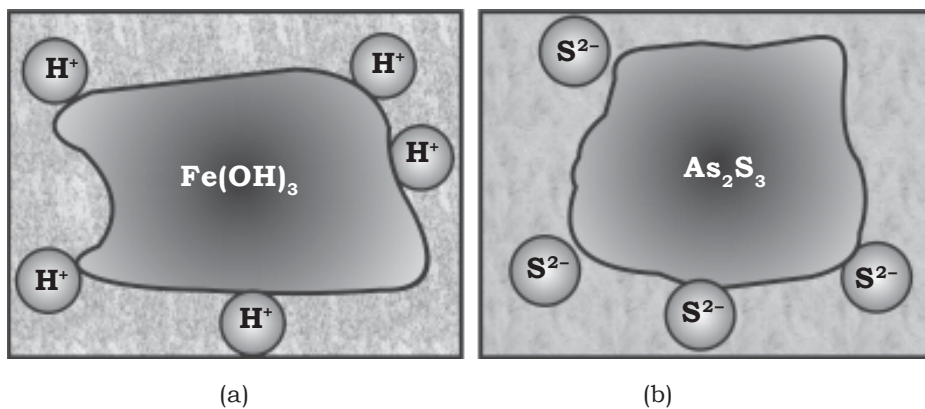
Adanya gerak Brown mengakibatkan partikel-partikel koloid dalam sistem koloid menjadi relatif stabil karena gerakan yang terus-menerus akibat tumbukan dari partikel koloid akan mengurangi pengaruh gaya gravitasi.

## 3. Adsorpsi

Partikel koloid memiliki luas permukaan yang sangat besar. Pada permukaan partikel koloid tersebut terdapat gaya Van der Waals yang belum terimbangi atau gaya valensi yang dapat menarik dan mengikat ion atau molekul yang lain. Peristiwa penyerapan ion atau molekul oleh permukaan partikel koloid disebut sebagai **adsorpsi**. Adsorpsi berbeda dengan absorpsi di mana peristiwa

penyerapan sampai ke bawah permukaan. Jadi, pada adsorpsi, penyerapan hanya terjadi pada permukaan partikel.

Bila permukaan partikel koloid menyerap ion yang bermuatan positif, maka koloid tersebut menjadi bermuatan positif. Sebagai contoh adalah koloid  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  bermuatan positif karena permukaannya menyerap ion  $\text{H}^+$ . Sebaliknya, bila permukaan partikel koloid menyerap ion yang bermuatan negatif, maka koloid tersebut menjadi bermuatan negatif. Misalnya, koloid  $\text{As}_2\text{S}_3$  bermuatan negatif karena permukaannya menyerap ion  $\text{S}^{2-}$ .



**Gambar 7.4** (a) Koloid  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  bermuatan positif karena menyerap ion  $\text{H}^+$  (a) dan (b) Koloid  $\text{As}_2\text{S}_3$  bermuatan negatif karena menyerap ion  $\text{S}^{2-}$

Jadi, partikel-partikel koloid dalam suatu sistem koloid memiliki muatan yang sejenis, entah positif atau negatif. Oleh karena muatannya sejenis, maka partikel tersebut akan saling tolak-menolak. Akibatnya mereka tidak akan pernah bergabung satu sama lain sehingga sistem koloid menjadi stabil.

Adanya peristiwa adsorpsi ini menyebabkan partikel koloid menjadi bermuatan listrik. Jika sistem koloid diletakkan dalam medan listrik, maka partikel koloid yang bermuatan tertentu akan bergerak menuju elektroda yang muatannya berlawanan dengan partikel tersebut. Jadi, partikel koloid yang bermuatan positif akan menuju elektroda negatif (katoda), sedangkan partikel koloid yang bermuatan negatif akan bergerak menuju elektroda positif (anoda). Dengan adanya fenomena ini, kalian dapat menentukan jenis muatan partikel koloid. Peristiwa gerakan partikel koloid yang bermuatan ke salah satu elektroda dalam medan listrik disebut **elektroforesis**. Prinsip elektroforesis digunakan untuk membersihkan asap dan jenis aerosol yang lain dalam suatu industri menggunakan alat yang disebut alat *Cottrell*.



## 4. Koagulasi

Partikel-partikel koloid bersifat stabil karena memiliki muatan listrik sejenis. Jika muatan listrik tersebut hilang, maka partikel tersebut akan bergabung membentuk gumpalan. Proses penggumpalan partikel-partikel koloid dalam suatu sistem koloid disebut **kongulasi**. Koagulasi berfungsi untuk memisahkan fase terdispersi dari medium pendispersinya. Partikel koloid dibuat menjadi tidak stabil (dipecahkan) sehingga akan menggumpal dan dapat dipisahkan dari medium pendispersinya. Koagulasi koloid dapat terjadi dengan dua cara, yaitu cara mekanik dan cara kimia.

### a. Cara Mekanik

Penggumpalan partikel-partikel koloid secara mekanik dapat dilakukan dengan pemanasan atau pendinginan. Sebagai contoh, jika kalian merebus telur, maka albumin (protein dalam telur) yang merupakan sistem koloid akan menggumpal karena adanya pemanasan. Albumin juga terdapat dalam darah. Akibatnya jika darah dipanaskan akan menggumpal. Sebaliknya, jika kalian membuat agar-agar atau jelly, maka sistem koloid tersebut harus didinginkan supaya menggumpal.

### b. Cara Kimia

Penggumpalan partikel koloid juga dapat dilakukan secara kimia, yaitu dengan menambahkan larutan elektrolit atau mencampurkan koloid yang berbeda muatan.

#### 1) Penambahan Larutan Elektrolit

Penggumpalan partikel koloid secara kimia dapat dilakukan dengan menambahkan larutan elektrolit ke dalam sistem koloid tersebut. Sebagai contoh adalah peristiwa penggumpalan sol  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang bermuatan positif ketika ditambahkan larutan elektrolit  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Sol  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang bermuatan positif akan mengadsorpsi ion  $\text{PO}_4^{3-}$  dari elektrolit sehingga muatannya menjadi netral (partikel koloid tidak bermuatan). Akibatnya, ketika partikel-partikel koloid bersinggungan satu sama lain, mereka berkumpul dan menjadi besar kemudian mengalami penggumpalan. Cara yang sama juga terjadi pada sistem koloid yang bermuatan negatif yang akan dinetralkan oleh muatan positif dari ion dalam larutan elektrolit. Contoh yang lain, misalnya pada pembentukan delta sungai. Partikel lumpur koloid dalam air sungai akan dinetralkan oleh ion dalam air laut sehingga partikel koloid tersebut mengendap dan membentuk delta.

## 2) *Penambahan Koloid yang Berbeda Muatan*

Penggumpalan partikel koloid dapat juga dilakukan dengan mencampurkan sistem koloid yang berbeda muatan. Muatan yang berbeda dari kedua sistem koloid ini akan saling menetralkan sehingga sistem koloid tersebut akan berkumpul dan menjadi besar kemudian mengalami koagulasi. Sebagai contoh, jika kalian mencampurkan sol  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang bermuatan positif dengan sol  $\text{As}_2\text{S}_3$  yang bermuatan negatif. Pencampuran kedua sol tersebut akan mengalami pengendapan atau koagulasi.

## 5. **Stabilitas Sistem Koloid**

Pada umumnya sistem koloid relatif stabil, meskipun masih kurang stabil jika dibandingkan dengan larutan. Untuk tujuan-tujuan tertentu, sistem koloid harus dijaga supaya berada pada keadaan yang stabil, terutama pada pembuatan suatu produk industri. Misalnya, bedak cair, susu pembersih muka, krim minyak rambut, obat-obatan, atau bahan makanan dan minuman lainnya. Untuk menstabilkan sistem koloid dapat dilakukan dengan penambahan koloid pelindung atau dengan menghilangkan muatan koloid.

### a. *Penambahan Koloid Pelindung*

**Koloid pelindung** adalah koloid yang ditambahkan ke dalam sistem koloid agar koloid menjadi stabil dan terhindar dari koagulasi. Salah satu contoh adalah gelatin yang ditambahkan pada es krim untuk mencegah penggumpalan dari partikel gula atau es sehingga es krim tetap lembut dan tidak menjadi keras.

Koloid pelindung pada emulsi disebut emulgator. Jadi, **emulgator** adalah koloid yang ditambahkan ke dalam sistem koloid yang berupa emulsi agar koloid menjadi stabil. Sebagai contoh adalah kuning telur yang ditambahkan pada mayones. Mayones terdiri dari minyak yang terdispersi dalam air. Seperti yang kalian ketahui, minyak dan air tidak dapat bercampur sehingga mudah terpisah kembali. Kuning telur yang ditambahkan pada mayones akan membentuk lapisan pelindung di sekeliling tetes-tetes minyak ketika campuran dikocok. Melalui cara inilah mayones dibuat tetap stabil. Contoh yang lain adalah kasein yang ditambahkan pada susu sehingga susu tidak menggumpal.

### b. *Penghilangan Muatan Koloid*

Cara lain yang dapat digunakan untuk menstabilkan sistem koloid adalah dengan menghilangkan muatan pada permukaan partikel koloid. Melalui cara ini, koagulasi sistem koloid dapat

dicegah. Proses pemurnian partikel-partikel koloid dengan menghilangkan muatan koloid disebut dialisis. Pada proses dialisis, pemurnian partikel koloid dilakukan dengan difusi selektif melalui membran semipermeabel. Membran semipermeabel dapat berupa seloran, kertas perkama, dan beberapa plastik sintetik. Membran ini memiliki pori-pori yang dapat dilewati ion tetapi tidak dapat dilewati oleh partikel koloid. Sebagai contoh, jika kalian ingin memisahkan campuran pati dengan glukosa. Campuran ini dimasukkan ke dalam wadah yang terbuat dari bahan semipermeabel dan direndam dalam wadah berisi air. Molekul glukosa akan melewati membran dan bercampur dengan air, sedangkan molekul pati tetap tertinggal dalam wadah.

Membran sel pada makhluk hidup bersifat semipermeabel dan proses dialisis terjadi secara alami dalam ginjal untuk mengeluarkan limbah dari dalam darah. Untuk ginjal yang sudah tidak berfungsi, proses pengeluaran limbah dibantu dengan mesin dialisis (alat pencuci darah) yang didasarkan pada prinsip dialisis. Proses dialisis pada alat pencuci darah dikenal dengan istilah *Haemodialisis*.

## **6. Koloid Liofil dan Koloid Liofob**

Dalam sistem koloid yang berupa sol terjadi interaksi antara fase terdispersi yang berupa padatan dengan medium pendispersi yang berupa air. Berdasarkan interaksi tersebut, sol dibagi ke dalam dua golongan liofil utama, yaitu koloid liofil (koloid hidrofil) dan koloid liofob (koloid hidrofob).

### **a. Koloid Liofil**

Koloid liofil, merupakan sistem koloid yang fase terdispersinya suka menarik medium pendispersinya. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya tarik yang kuat antara fase terdispersi dengan medium pendispersinya. Koloid liofil tampak seperti larutan sejati, kecuali ukuran partikel terdispersinya yang jauh lebih besar. Contoh koloid liofil adalah pati dalam air, larutan protein seperti gelatin dalam air, agar-agar, lem, dan cat.

### **b. Koloid Liofob**

Koloid liofob, merupakan koloid yang fase terdispersinya tidak suka menarik medium pendispersinya. Hal ini disebabkan oleh kurangnya gaya tarik antara fase terdispersi dengan medium pendispersinya. Pada dasarnya, koloid liofob tidak stabil. Fase terdispersi dari koloid, hidrofob mudah mengumpul menjadi partikel

besar dan menggumpal sehingga mudah dipisahkan dari medium pendispersinya. Ketidakstabilan partikel dalam koloid liofob dapat diatasi karena partikel koloidnya memiliki muatan permukaan yang akan mencegah partikel-partikel tersebut untuk saling berdekatan. Contoh koloid liofob adalah sol belerang, sol emas, dan sol perak.

**Tabel 7.3 Perbedaan Koloid Liofid dan Koloid Liofob**

Sifat	Koloid Liofil	Koloid Liofob
Efek Tyndall	Lemah (kurang jelas)	Kuat (sangat jelas)
Adsorpsi terhadap medium pendispersi	Mudah mengadsorpsi medium pendispersinya	Tidak mengadsorpsi medium pendispersinya
Muatan partikel	Muatan kecil atau tidak bermuatan	Bermuatan positif atau negatif
Stabilitas	Lebih stabil	Kurang stabil
Viskositas (kekentalan)	Lebih besar dari medium pendispersinya	Hampir sama dengan medium pendispersinya
Koagulasi	Sukar mengalami koagulasi	Mudah mengalami koagulasi

Sumber: *Sistem koloid. tripod.com*

Selain koloid hidrofil dan koloid hidrofob, terdapat jenis koloid lain yang terbentuk dari molekul atau ion yang memiliki ujung liofob dan liofil. Sistem koloid seperti ini disebut **koloid asosiasi**, misalnya detergen dalam air. Detergen merupakan zat yang memiliki ujung hidrofil dan ujung hidrofob dan digunakan untuk meningkatkan daya pembersih air pada proses pencucian baju. Kotoran yang menempel pada serat kain pada umumnya berupa lemak atau minyak yang tidak dapat larut dalam air. Dengan ditamhkannya detergen, ujung hidrofil dari detergen akan mengikat air, sedangkan ujung hidrofobnya akan mengikat kotoran (lemak atau minyak). Adanya gaya tarik-menarik ini akan menurunkan tegangan permukaan lemak dan minyak sehingga kotoran tersebut dapat dilepaskan dari serat kain dan dihasilkan cucian yang lebih bersih. Sabun yang kalian gunakan untuk membersihkan badan pada waktu mandi juga bekerja dengan cara yang sama.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan akademik** kalian, kerjakan Latihan 7.1 berikut.

### Latihan 7.1

1. Sebutkan Fasa terdispersi dan medium pendispersi dari:
  - a. busa shampo
  - b. hair cream
  - c. tipe-ex
  - d. santan
  - e. hand body lotion
  - f. tinta
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan:
  - a. Efek Tyndall
  - b. Gerak Brown
  - c. koagulasi
  - d. Adsorpsi
  - e. koloid

## C. Pembuatan Sistem Koloid

Partikel koloid memiliki ukuran di antara partikel larutan dan suspensi. Baik larutan maupun suspensi dapat dibuat menjadi sistem koloid dengan mengubah ukuran partikelnya. Berdasarkan pengubahan ukuran partikel, pembuatan sistem koloid dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu cara kondensasi dan cara dispersi. Cara kondensasi dilakukan dengan memperbesar ukuran partikel. Cara ini diterapkan pada pembuatan koloid dari partikel larutan. Cara dispersi dilakukan dengan memperkecil ukuran partikel dan diterapkan pada pembuatan koloid dari partikel suspensi.

Partikel larutan  $\xrightarrow{\text{Kondensasi}}$  Partikel koloid  $\xleftarrow{\text{Dispersi}}$  Partikel suspensi

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan vokasional, semangat inovasi, kreativitas, dan berpikir kritis** kalian, lakukanlah Percobaan 7.2 berikut.

### Percobaan 7.2

#### Tujuan:

Membuat sistem koloid dengan cara kondensasi dan dispersi.

#### Alat

1. Gelas ukur 100 mL, 10 mL
2. Gelas kimia 250 mL, 100 mL

3. Erlenmeyer 250 mL
4. Kaki tiga dan kassa
5. Pipet tetes
6. Batang pengaduk
7. Lumpang porselen
8. Corong dan kertas saring
9. Alat pengalir gas  $H_2S$
10. Lampu spiritus

**Bahan:**

1. Arsen(III) sulfida,  $As_2S_3$
2. Hidrogen sulfida,  $H_2S$
3. Sulfur dioksida,  $SO_2$
4. Air,  $H_2O$
5. Pati kanji
6. Besi(III) klorida,  $FeCl_3$
7. Akuades

**Cara Kerja:**

**A. Pembuatan koloid dengan cara kondensasi**

1. Masukkan 25 mL air yang telah dijenuhkan dengan larutan  $SO_2$  ke dalam erlenmeyer. Kemudian ke dalam larutan tersebut dialiri gas  $H_2S$ . Amati hasilnya.
2. Masukkan 250 mL air ke dalam erlenmeyer dan panaskan sampai mendidih. Tambahkan larutan  $FeCl_3$  jenuh tetes demi tetes, sambil diaduk sampai larutan berubah menjadi merah coklat. Amati hasilnya.
3. Masukkan 100 mL air ke dalam erlenmeyer, tambahkan dengan 1,5 g  $As_2S_3$  dan panaskan sampai mendidih. Masukkan 250 mL akuades ke dalam labu erlenmeyer yang lain dan dijenuhkan dengan gas  $H_2S$ . Setelah jenuh, larutan  $As_2S_3$  ditambahkan secara perlahan-lahan pada larutan tersebut. Amati hasilnya.

**B. Pembuatan koloid dengan cara dispersi**

1. Ambillah satu sendok pati kanji, masukkan ke dalam gelas kimia. Tambahkan dengan 10 mL air dan aduk dengan batang pengaduk. Kemudian campuran disaring.
2. Ambillah satu sendok pati kanji, masukkan ke dalam lumpang porselen dan gerus sampai benar-benar halus. Kemudian masukkan ke dalam gelas kimia dan tambahkan dengan 10 mL air dan diaduk. Setelah itu campuran disaring. Amati dan bandingkan kedua larutan tersebut.

**Pertanyaan:**

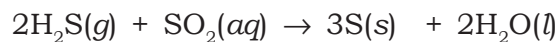
1. Kesimpulan apa yang dapat kalian peroleh?
2. Berdasarkan hasil pengamatan kalian, buatlah laporan percobaan mengenai cara pembuatan sistem koloid tersebut terutama ditinjau dari asal zat!

**1. Cara Kondensasi**

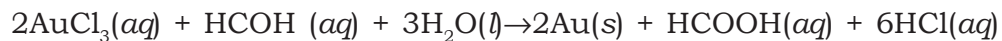
Pembuatan koloid dengan cara kondensasi dilakukan dengan mengubah ukuran partikel larutan yang berupa ion, atau molekul menjadi partikel koloid melalui beberapa reaksi kimia, antara lain:

**a. Reaksi Reduksi-Oksidasi**

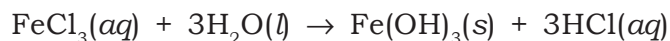
Reaksi oksidasi-reduksi (atau disingkat reaksi redoks) merupakan reaksi yang melibatkan perubahan bilangan oksidasi. Koloid yang terbentuk melalui reaksi ini merupakan hasil oksidasi atau reduksi. Sebagai contoh, pembuatan sol belerang dari larutan  $\text{SO}_2$  dilakukan dengan mengalirkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  ke dalam larutan tersebut.



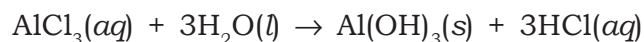
Contoh yang lain adalah pembuatan sol emas dari larutan garamnya,  $\text{AuCl}_3$  dengan mereduksi larutan tersebut menggunakan pereduksi organik formaldehid ( $\text{HCOH}$ ).

**b. Reaksi Hidrolisis**

Reaksi hidrolisis merupakan reaksi suatu senyawa dengan air. Pada pembuatan koloid melalui reaksi hidrolisis, suatu larutan yang berupa garam direaksikan dengan air sehingga dihasilkan suatu sistem koloid. Sebagai contoh, pembuatan sol  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dari larutan  $\text{FeCl}_3$  dengan mereaksikan larutan tersebut dengan air mendidih.

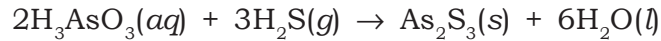


Contoh yang lain adalah pembuatan sol  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dari larutan  $\text{AlCl}_3$  dengan mereaksikan larutan tersebut dengan air mendidih.

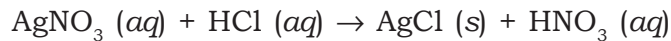
**c. Reaksi Substitusi**

Reaksi substitusi merupakan suatu reaksi yang melibatkan pertukaran ion. Koloid dihasilkan dari pertukaran ion-ion dalam reaktan-reaktannya. Sebagai contoh, pembuatan sol  $\text{As}_2\text{S}_3$  dari

larutan asam arsenit ( $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ) dengan mengalirkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  ke dalam larutan tersebut sampai terbentuk sol  $\text{As}_2\text{S}_3$  yang berwarna kuning terang.



Contoh yang lain adalah pembuatan sol  $\text{AgCl}$  dari larutan  $\text{AgNO}_3$  dengan mereaksikan larutan tersebut dengan larutan  $\text{HCl}$  encer.



#### **d. Penggantian Pelarut**

Pembuatan koloid dengan penggantian pelarut dilakukan dengan cara melarutkan suatu zat dalam pelarut yang sesuai kemudian didispersikan ke dalam medium pendispersinya untuk membentuk suatu koloid. Sebagai contoh, pembuatan sol belerang dalam air. Belerang sukar larut dalam air tetapi mudah larut dalam alkohol, misalnya etanol. Jadi, untuk membuat sol belerang dalam air, larutan belerang dalam etanol tersebut ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam air sambil diaduk. Akibat adanya penurunan kelarutan belerang dalam air, belerang akan menggumpal menjadi partikel koloid dan terbentuk sol belerang.

## **2. Cara Dispersi**

Pembuatan koloid dengan cara dispersi dilakukan dengan mengubah partikel suspensi menjadi partikel koloid. Hal itu dapat dilakukan secara mekanik atau kimia.

### **a. Cara Mekanik**

Pembuatan koloid dengan cara dispersi dapat dilakukan secara mekanik, yaitu melalui penggilingan/penggerusan. Partikel suspensi dihancurkan atau dihaluskan menjadi partikel koloid dengan cara digerus/digiling kemudian didispersikan ke dalam suatu cairan sehingga membentuk sol. Misalnya, jika kalian akan membuat sol belerang, dilakukan dengan mencampur belerang dengan gula kemudian digerus sampai halus. Setelah itu didispersikan ke dalam air.

Dalam skala industri, alat yang digunakan untuk menghaluskan partikel suspensi atau zat padat lainnya disebut alat penggilingan koloid. Alat ini terdiri dari dua pelat baja dengan arah rotasi yang berlawanan. Partikel-partikel kasar dimasukkan ke ruang antara kedua pelat tersebut kemudian digiling. Partikel-partikel berukuran koloid yang terbentuk kemudian didispersikan ke dalam medium pendispersinya untuk membentuk sistem koloid.



Beberapa industri yang menerapkan pembuatan koloid dengan cara ini dalam membuat produk-produknya, antara lain:

- 1) Industri makanan untuk membuat jus buah, sirup, selai, es krim, dan lain-lain.
- 2) Industri bahan-bahan kimia untuk membuat pasta gigi, detergen, semir sepatu, tinta, cat, bahan pelumas, dan lain-lain.
- 3) Industri farmasi untuk membuat obat-obatan dalam bentuk sirup, dan lain-lain.

### **b. Peptisasi**

Peptisasi adalah proses pemecahan partikel suspensi atau endapan hasil reaksi kimia menjadi partikel berukuran koloid dengan penambahan suatu zat kimia tertentu. Zat kimia yang digunakan untuk memecah partikel tersebut disebut zat pemeptisasi. Zat pemeptisasi dapat berupa elektrolit, terutama yang mengandung ion sejenis atau pelarut tertentu. Sebagai contoh, untuk membuat sol  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , endapan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ditambahkan dengan elektrolit  $\text{FeCl}_3$  (yang juga memiliki ion  $\text{Fe}^{3+}$ ). Endapan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  akan mengadsorpsi ion  $\text{Fe}^{3+}$  sehingga endapan menjadi bermuatan positif dan saling memisahkan diri untuk membentuk partikel-partikel koloid.

#### **Contoh:**

- 1) Sol  $\text{NiS}$  dibuat dengan cara menambahkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  ke dalam endapan  $\text{NiS}$ .
- 2) Sol  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dibuat dengan cara menambahkan  $\text{AlCl}_3$  ke dalam endapan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .
- 3) Sol  $\text{AgCl}$  dibuat dengan cara menambahkan  $\text{HCl}$  ke dalam endapan  $\text{AgCl}$ .
- 4) Karet dibuat menjadi sistem koloid dengan menambahkan bensin.

### **c. Proses Bredig (Cara Listrik)**

Proses Bredig digunakan untuk membuat sol-sol dari logam, misalnya dalam pembuatan sol emas, perak, platina, dan tembaga. Dalam proses Bredig, logam yang akan diubah menjadi partikel-partikel koloid digunakan sebagai elektroda. Dua elektroda logam dicelupkan ke dalam medium pendispersi (air dingin) dengan kedua ujung saling berdekatan dan diberi loncatan listrik. Panas yang timbul menyebabkan logam tersebut menguap. Uap yang dihasilkan akan terkondensasi dalam medium pendispersinya dan membentuk partikel-partikel koloid.

Untuk lebih mengembangkan **kecakapan personal** kalian, kerjakanlah Latihan 7.2 berikut.

### Latihan 7.2

1. Apakah yang dimaksud gel itu? Bagaimana cara membuat gel?
2. Bagaimana cara membuat koloid belerang cara dispersi dan kondensasi?
3. Berilah masing-masing 1 contoh pembuatan:
  - a. koloid  $\text{Al}(\text{OH})_3$
  - b. koloid  $\text{AgI}$
  - c. emulsi
4. Jelaskan bagaimana pembuatan koloid platina dengan cara busur Breiding!

### Rangkuman

1. Sistem koloid adalah sistem dispersi dengan ukuran partikel di antara larutan dan suspensi (1 – 100 nm). Terdiri dari fase terdispersi dan medium pendispersi.
2. Fase terdispersi adalah zat yang didispersikan dan dapat berwujud padat, cair atau gas. Medium pendispersi adalah zat di mana partikel terdispersi dan hanya dapat berwujud padat atau cair.
3. Tipe sistem koloid berdasarkan fase terdispersi dan medium pendispersi.
  - a. Sol (padat terdispersi dalam cair).
  - b. Sol padat (padat terdispersi dalam padat).
  - c. Aerosol padat (padat terdispersi dalam gas).
  - d. Emulsi padat atau gel (cair terdispersi dalam padat).
  - e. Emulsi (cair terdispersi dalam cair).
  - f. Aerosol cair (cair terdispersi dalam gas).
  - g. Busa padat (gas terdispersi dalam padat).
  - h. Busa (gas terdispersi dalam cair).
4. Sifat-sifat sistem koloid:
  - a. Efek Tyndall, untuk membedakan sistem koloid dari larutan.
  - b. Gerak Brown, untuk mencegah pengendapan sistem koloid dengan mengurangi pengaruh gaya gravitasi.
  - c. Adsorpsi, untuk mencegah penggumpalan dengan membentuk muatan listrik sejenis.

- d. Koagulasi, untuk memisahkan partikel koloid dari medium pendispersi dengan menghilangkan muatan listrik. Caranya:
  - 1) Penambahan larutan elektrolit
  - 2) Penambahan koloid beda muatan
5. Penstabilan atau pemurnian sistem koloid:
  - a. Penambahan koloid pelindung atau emulgator
  - b. Dialisis
6. Dispersi adalah pembuatan sistem koloid dari suatu suspensi, dilakukan dengan cara:
  - a. Penggilingan atau penggerusan
  - b. Peptisasi
  - c. Proses Bredig (cara listrik)
7. Kondensasi adalah pembuatan sistem koloid dari suatu larutan, dilakukan dengan cara:
  - a. Reaksi reduksi-oksidasi
  - b. Reaksi hidrolisis
  - c. Reaksi substitusi
  - d. Penggantian Pelarut

## Evaluasi

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Koloid di bawah ini yang **tidak** dapat dibuat dengan cara kondensasi adalah. . . .
 

A. sol belerang	D. sol $\text{As}_2\text{S}_3$
B. sol $\text{AgCl}$	E. sol $\text{NiS}$
C. sol $\text{Fe}(\text{OH})_3$	
2. Pembuatan koloid di bawah ini yang termasuk pembuatan cara kondensasi adalah. . . .
  - A. sol  $\text{As}_2\text{S}_3$  dibuat dengan mengalirkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  ke dalam larutan  $\text{As}_2\text{O}_3$
  - B. sol emas dibuat dengan melompatkan bunga api listrik dari elektroda Au dalam air
  - C. sol belerang dibuat dengan mencampurkan serbuk belerang dengan gula kemudian dimasukkan dalam air
  - D. sol  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dibuat dengan menambahkan larutan  $\text{Al}(\text{OH})_3$
  - E. sol agar-agar dibuat dengan memasukkan serbuk agar-agar ke dalam air panas

3. Proses pembuatan koloid berikut yang tergolong cara kondensasi adalah. . . .
- menambahkan larutan  $\text{AlCl}_3$  ke dalam endapan  $\text{Al(OH)}_3$
  - menambahkan larutan jenuh  $\text{FeCl}_3$  ke dalam air panas
  - mengalirkan arus listrik tegangan tinggi ke dalam larutan  $\text{AuCl}_3$
  - memasukkan serbuk belerang yang sudah digerus ke dalam air
  - menambahkan alkohol 95% ke dalam larutan jenuh kalsium asetat
4. Fase terdispersi dan medium pendispersi pada kabut adalah . . . .
- cair dalam gas
  - gas dalam cair
  - padat dalam padat
  - cair dalam padat
  - padat dalam gas
5. Jenis koloid yang zat terdispersinya cair dan medium pendispersinya gas adalah . . . .
- gel
  - sol
  - busa
  - emulsi
  - aerosol cair
6. Pembuatan koloid dapat dilakukan dengan cara:
- Hidrolisis*
  - Peptisasi*
  - Reaksi redoks*
  - Penggilingan/penggerusan*
- Pembuatan koloid dengan cara kondensasi adalah nomor . . . .
- 1 dan 2
  - 1 dan 3
  - 1 dan 4
  - 2 dan 3
  - 2 dan 4
7. Kelebihan elektrolit dalam suatu dispersi koloid biasanya dihilangkan dengan cara . . . .
- elektrolisis
  - elektroforesis
  - dialisis
  - dekantasi
  - presipitasi
8. Di antara sistem koloid berikut yang medium pendispersinya padat dan fase terdispersinya cair adalah . . . .
- asap
  - awan
  - agar-agar
  - susu
  - batu apung

9. Pembuatan koloid di bawah ini yang termasuk pembuatan cara dispersi adalah. . . .
- A. sol  $\text{As}_2\text{S}_3$  dibuat dengan mengalirkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  ke dalam larutan  $\text{As}_2\text{O}_3$
  - B. sol belerang dibuat dengan mengalirkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  ke dalam larutan  $\text{SO}_2$
  - C. sol  $\text{AgCl}$  dapat dibuat dengan mereaksikan perak nitrat encer dengan larutan  $\text{HCl}$
  - D. sol emas dibuat dengan melompati bunga api listrik dari elektroda  $\text{Au}$  dalam air
  - E. sol  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dibuat dengan menambahkan larutan  $\text{FeCl}_3$  jenuh ke dalam air yang mendidih
10. Di antara zat berikut, yang **bukan** merupakan sistem koloid adalah . . . .
- A. asap
  - B. debu
  - C. kabut
  - D. darah
  - E. udara

**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!**

1. Jelaskan perbedaan antara larutan, koloid, dan suspensi!
2. Mengapa efek Tyndall dapat digunakan untuk membedakan larutan dan sistem koloid?
3. Jelaskan bagaimana sabun dapat menghilangkan minyak yang melekat pada kain!
4. Mengapa dalam pembuatan es krim perlu ditambahkan gelatin?
5. Bagaimana cara menjaga supaya sistem koloid tetap stabil? Berikan salah satu contohnya!

## Evaluasi Semester II

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

- pH suatu larutan basa MOH 0,1M adalah 10. Tetapan basa MOH adalah . . . .  
A.  $10^{-8}$  D.  $10^{-5}$   
B.  $10^{-7}$  E.  $10^{-2}$   
C.  $10^{-4}$
- Pada pelarutan  $\text{NH}_3$  terjadi kesetimbangan sebagai berikut:  
 $\text{NH}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$   
Yang merupakan pasangan asam-asam konjugasi adalah . . . .  
A.  $\text{NH}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  D.  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{NH}_4^+$   
B.  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{OH}^-$  E.  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{OH}^-$   
C.  $\text{NH}_3$  dan  $\text{OH}^-$
- Bila ke dalam 20 mL larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2,0 M ditambahkan air sehingga diperoleh 50 mL larutan, maka kemolaran larutan . . . .  
A. 1,5 M D. 0,8 M  
B. 1,2 M E. 0,6 M  
C. 1,0 M
- Diketahui garam-garam:  
1.  $\text{BaSO}_4$  4.  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$   
2.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  5.  $\text{K}_2\text{S}$   
3.  $\text{NH}_4\text{Cl}$   
Pasangan garam yang larutannya dalam air bersifat basa adalah . . . .  
A. 1 dan 2 D. 3 dan 5  
B. 1 dan 4 E. 3 dan 4  
C. 2 dan 4
- Larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,4% ( $M_r = 98$ ) dengan massa jenis 1,225 gram/cm<sup>3</sup> mempunyai pH . . . .  
A. 1,0 D. 2,6  
B. 2,0 E. 4,7  
C. 1,3
- Suatu obat baru yang diperoleh dari biji tanaman ternyata berupa basa organik yang lemah. Bila 0,100 M larutan obat tersebut dalam air mempunyai pH = 11, maka  $K_b$  obat tersebut adalah . . . .  
A.  $10^{-2}$  D.  $10^{-5}$   
B.  $10^{-3}$  E.  $10^{-6}$   
C.  $10^{-4}$

7. pH dari larutan yang mengandung  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 mol ( $K_a = 10^{-5}$ ) dan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,01 mol adalah . . . .
- A. 4  
B. 4,5  
C. 5  
D. 5,5  
E. 6
8. Sebanyak 100 mL larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,01 M. Jika tetapan hidrolisis,  $K_h$  garam =  $10^{-8}$ , maka pH larutan tersebut adalah . . . .
- A. 2  
B. 3  
C. 4  
D. 5  
E. 6
9. Diketahui  $K_{sp} \text{L(OH)}_2 = 4 \times 10^{-12}$ , maka pH jenuh larutan  $\text{L(OH)}_2$  adalah . . . .
- A. 10  
B.  $10 - \log 2$   
C.  $11 - \log 2$   
D.  $11 + \log 2$   
E.  $10 + \log 2$
10. Jika  $K_{sp} \text{Al(OH)}_3 = 3,7 \times 10^{-15}$ , maka kelarutannya dalam larutan yang mempunyai pH = 12 adalah . . . .
- A.  $3,2 \times 10^{-9}$  mol/L  
B.  $3,7 \times 10^{-9}$  mol/L  
C.  $3,2 \times 10^{-10}$  mol/L  
D.  $3,7 \times 10^{-10}$  mol/L  
E.  $3,7 \times 10^{-11}$  mol/L
11. Hasil kali kelarutan beberapa senyawa adalah sebagai berikut.
- $\text{AgCl} : 1,0 \times 10^{-10}$   
 $\text{Ag}_2\text{CO}_3 : 3,2 \times 10^{-11}$   
 $\text{Ag}_2\text{CrO}_4 : 4,0 \times 10^{-12}$   
 $\text{AgI} : 1,0 \times 10^{-16}$   
 $\text{Ag}_2\text{S} : 5,0 \times 10^{-19}$
- Senyawa yang paling banyak melarut dalam air adalah . . . .
- A.  $\text{AgCl}$   
B.  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$   
C.  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$   
D.  $\text{AgI}$   
E.  $\text{Ag}_2\text{S}$
12. Sistem koloid yang fase terdispersinya padat dan medium pendispersinya gas adalah . . . .
- A. asap  
B. kabut  
C. gabus  
D. buih sabun  
E. batu apung
13. Perhatikan peristiwa berikut:
1. Pembentukan delta pada muara sungai.
  2. Pemurnian gula pasir (kotor).
  3. Penyembuhan sakit perut oleh norit.
  4. Penjernihan air.





## Evaluasi Akhir

### A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E!

1. Bilangan kuantum yang sesuai untuk elektron  $3d$  adalah

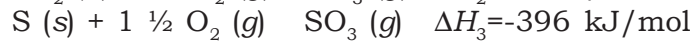
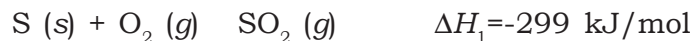
.....

- A.  $n = 3, l = 2, m = 3, s = +\frac{1}{2}$
- B.  $n = 3, l = 3, m = 2, s = -\frac{1}{2}$
- C.  $n = 3, l = 1, m = 0, s = +\frac{1}{2}$
- D.  $n = 3, l = 1, m = 0, s = -\frac{1}{2}$
- E.  $n = 3, l = 2, m = 1, s = +\frac{1}{2}$

2. Nomor atom unsur X sama dengan 26. Konfigurasi elektron ion  $X^{3+}$  adalah .....

- A.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$
- B.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$
- C.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$
- D.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$
- E.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$

3. Diketahui reaksi :



Besarnya X adalah .....

- A.  $-49,9 \text{ kJ/mol}$
- B.  $-97 \text{ kJ/mol}$
- C.  $-194 \text{ kJ/mol}$
- D.  $+49,9 \text{ kJ/mol}$
- E.  $+97 \text{ kJ/mol}$

4. Diketahui energi ikatan dari:

$$O - H = 464 \text{ kJ}$$

$$O = O = 500 \text{ kJ}$$

$$H - H = 436 \text{ kJ}$$

Kalor yang diperlukan untuk menguraikan 9 gram air ( $M_r = 18$ ) adalah .....

- A. 8 kJ
- B. 121 kJ
- C. 222 kJ
- D. 242 kJ
- E. 472 kJ

5. Diketahui

$$\Delta H_f^\circ H_2O(g) = -242 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ CO_2(g) = -394 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ C_2H_2(g) = -52 \text{ kJ/mol}$$

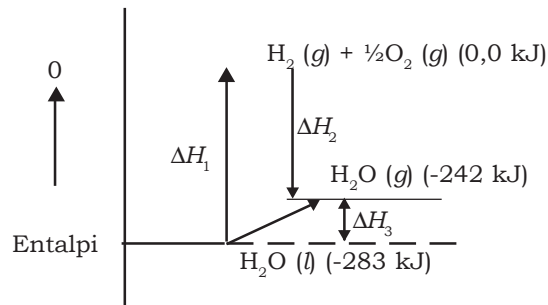


9. Dalam suatu wadah, gas  $N_2O_4$  terurai separuhnya menjadi gas  $NO_2$ . Jika campuran gas-gas pada kesetimbangan menimbulkan tekanan total 3 atm, harga  $K_p$  adalah . . . .
- A. 4  
B. 5  
C. 6  
D. 8  
E. 10
10. Diketahui beberapa reaksi kesetimbangan sebagai berikut:
- 1)  $2H_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2H_2O(g)$
  - 2)  $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$
  - 3)  $2NO(g) \rightleftharpoons N_2(g) + O_2(g)$
  - 4)  $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$
  - 5)  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$
- Reaksi kesetimbangan yang mempunyai harga tetapan kesetimbangan  $K_c = K_p$  adalah . . . .
- A. 1 dan 2  
B. 1 dan 3  
C. 2 dan 3  
D. 3 dan 4  
E. 4 dan 5
11. Dalam ruang 5 liter direaksikan 0,5 mol  $N_2$  dengan 0,4 mol gas  $O_2$  menurut reaksi  $2N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ . Setelah tercapai keadaan setimbang, terbentuk 0,2 mol gas NO, harga  $K_c$  adalah . . . .
- A. . . . .  
B. . . . .  
C. . . . .  
D. . . . .  
E. . . . .
12. Suatu reaksi dikatakan setimbang bila. . . .
- A. reaksi sudah berhenti
  - B. terjadi pada ruang terbuka
  - C. terjadi perubahan makroskopis
  - D. komponen yang masih ada hanya hasil reaksi
  - E. laju reaksi ke arah hasil reaksi dan ke arah pereaksi sama
13. Asam konjugasi dari ion monohidrogen fosfat  $HPO_4^{2-}$  adalah . . . .
- A.  $H_4PO_4$   
B.  $H_3PO_4$   
C.  $H_2PO_4$   
D.  $H_2PO_4$   
E.  $PO_4^{3-}$



**B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!**

- Buatlah konfigurasi elektron dari atom dan ion berikut.
  - ${}_{29}\text{Cu}^{2+}$
  - ${}_{12}\text{Mg}^{2+}$
  - ${}_{35}\text{Br}$
  - ${}_{19}\text{K}$
- Perhatikan diagram entalpi dari reaksi:  
 $\text{H}_2\text{O} (l) \rightarrow \text{H}_2\text{O} (g)$  berikut ini!

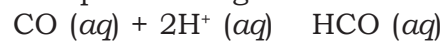


Berdasarkan data-data diagram tersebut, berapakah harga  $\Delta H_3$ ?

- Diketahui :
 
$$\text{CO}_3^{2-} (aq) + 2\text{H}^+ (aq) \rightarrow \text{H}_2\text{O} (l) + \text{CO}_2 (g) \quad \Delta H = a \text{ kJ}$$

$$\text{HCO}_3^- (aq) + \text{H}^+ (aq) \rightarrow \text{H}_2\text{O} (l) + \text{CO}_2 (g) \quad \Delta H = b \text{ kJ}$$

Berapakah harga  $\Delta H$  untuk reaksi berikut?



- Data percobaan laju reaksi diperoleh dari reaksi:  
 $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$  sebagai berikut.

[A] (molar)	[B] (molar)	[C] (molar)	Laju Reaksi (molar/detik)
1	0,01	0,20	0,02
2	0,02	0,20	0,08
3	0,03	0,20	0,18
4	0,03	0,40	0,36

Bagaimana rumus laju reaksinya?

- Suatu reaksi  $x + y \rightarrow$  hasil reaksi, persamaan laju reaksinya  $v = k[\text{X}][\text{Y}]^2$ . Bila pada suhu tetap konsentrasi X dan Y masing-masing dinaikkan dua kali dari semula, bagaimana laju reaksinya?

6. Pada temperatur tertentu dalam wadah 1 liter terjadi kesetimbangan:
- $$2\text{SO}_3(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g)$$
- Jika semula 1 mol  $\text{SO}_3$  dimasukkan dalam wadah dan ternyata setelah tercapai kesetimbangan jumlah mol  $\text{SO}_3$  sama dengan mol  $\text{O}_2$ . Tentukan harga tetapan kesetimbangan!
7. Suatu reaksi:  $2\text{HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$
- Jika pada awal reaksi tekanan HI = 2 atm dan setelah kesetimbangan ternyata 1/3 bagian HI terurai, tentukan:
- $P_{\text{HI}}, P_{\text{H}_2}, P_{\text{I}_2}$
  - $K_p$
8. Sebanyak 100 mL larutan HCl 0,02 M dicampur dengan 100 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,02 M.  $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 1 \times 10^{-5}$
- Hitunglah pH campuran kedua larutan!
  - Berapakah konsentrasi ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dalam campuran itu?
9. Diketahui  $K_{sp} \text{CaCO}_3 = 9 \times 10^{-9}$  dan mempunyai  $M_r = 100$ . Berapa gram  $\text{CaCO}_3$  maksimum dapat larut dalam 250 mL air?
10. Jelaskan sifat-sifat koloid yang kalian ketahui!

⇐

## Glosarium

**Adsorpsi.** Penyerapan ion atau molekul pada permukaan partikel koloid. (174, 176, 177, 187)

**Azas Le Chatelier.** Jika sistem pada kesetimbangan diganggu dengan beberapa perubahan, sistem berubah sedemikian rupa untuk mengurangi pengaruh perubahan tersebut. (96, 97, 100, 103, 159)

**Bilangan kuantum.** Bilangan yang menggambarkan penataan elektron dalam atom. (5, 6, 7, 10)

**Efek Tyndall.** Penghamburan cahaya oleh partikel koloid. (174, 175, 187)

**Eksitasi.** Perpindahan elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi. (4)

**Elektrolit.** Zat yang jika dilarutkan dalam air menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan listrik. (116, 121, 150, 186)

**Elektron.** Partikel subatomik yang bermuatan listrik negatif. (2, 3, 4, 5, 9, 10, 16)

**Energi aktivasi.** Jumlah minimum energi yang diperlukan agar reaksi berlangsung. (64, 66, 67)

**Energi dalam.** Jumlah energi potensial dan energi kinetik dari atom atau molekul penyusunnya. (34)

**Energi ikatan rata-rata.** Energi rata-rata yang diperlukan untuk memutuskan satu ikatan dari seluruh ikatan dalam 1 mol molekul menjadi atom-atom penyusunnya. (47)

**Energi kinetik.** Energi yang tersedia karena gerakan suatu benda. (34, 64, 66)

**Energi.** kemampuan untuk menghasilkan kerja atau menghasilkan perubahan. (34, 45, 46)

**Entalpi.** Besaran termodinamika yang digunakan untuk menyatakan perubahan kalor yang berlangsung pada tekanan tetap. (35, 38, 44, 51)

**Gaya dipol-dipol.** Gaya tarik-menarik antarmolekul polar. (24)

**Gaya disperse.** Gaya tarik-menarik antarmolekul nonpolar yang ditimbulkan oleh dipol sesaat dalam atom atau molekul. (24)

**Gaya Van der Waals.** Istilah kolektif untuk gaya dipol-dipol dan gaya dispersi. (24, 176)

**Gerak Brown.** Gerak acak sinambung dari partikel koloid dalam medium pendispersi. (174, 176, 187)

**Hibridisasi.** Proses pencampuran orbital atom dalam suatu atom (biasanya atom pusat) untuk menghasilkan satu set orbital atom baru (orbital hibrid). (21)

**Hidrolisis garam.** Reaksi peruraian garam oleh air. (140, 150, 152, 163)

**Hukum Hess.** Jika reaktan diubah menjadi produk, perubahan entalpinya selalu sama, tidak bergantung pada apakah reaksi berlangsung dalam satu tahap atau serangkaian tahap. (44)

**Hukum kesetimbangan.** Pernyataan yang menghubungkan konsentrasi reaktan dan produk dalam kesetimbangan. (121)

**Hukum laju reaksi.** Pernyataan yang menghubungkan laju reaksi dengan tetapan laju dan konsentrasi reaktan. (75)

**Ikatan hydrogen.** Ikatan yang terjadi antarmolekul polar yang mengandung atom hydrogen dengan atom berelektonegativitas tinggi yang punya pasangan electron bebas (f,n,o). (24, 26)

**Indikator.** Zat yang memiliki warna yang sangat berbeda dalam asam dan basa. (129, 136)

**Kalor jenis.** Banyaknya energi kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu gram zat sebesar satu derajat celcius. (33, 34, 40, 50, 51)

**Kalorimetri.** Metode pengukuran perubahan kalor. (39)

**Kapasitas kalor.** Banyaknya kalor yang diperlukan untuk meningkatkan suhu sejumlah zat tertentu sebesar satu derajat celcius. (39)

**Kelarutan.** Jumlah maksimum zat terlarut yang dapat dilarutkan dalam sejumlah pelarut pada suhu tertentu. (157, 158, 159, 160, 163)

**Kesetimbangan dinamis.** Keadaan pada saat laju reaksi maju sama dengan laju reaksi balik. (82, 85)

**Koagulasi.** Penggumpalan partikel-partikel koloid dalam system koloid. (174, 179)

**Konsentrasi.** Jumlah zat yang terlarut per satuan jumlah pelarut dalam larutan. (102, 120, 121, 123, 125)

**Laju reaksi.** Perubahan konsentrasi reaktan atau produk per satuan waktu. (56, 57, 58, 63, 65, 66, 67, 75, 99, 102)

**Larutan penyangga.** Larutan yang dapat mempertahankan harga ph. (140, 141, 144, 145, 149, 162, 163)

**Lingkungan.** Bagian alam semesta di luar sistem. (33)

**Mekanika kuantum.** Teori yang menjelaskan sifat gelombang elektron. (2, 4, 5, 21)

**Momen dipol.** Hasil kali muatan dan jarak antara muatan dalam suatu molekul. (24)

**Orbital.** Daerah dengan peluang terbesar untuk menemukan elektron. (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 21)

**Orde reaksi.** Jumlah pangkat-pangkat dari semua konsentrasi reaktan yang muncul pada hukum laju. (68, 69, 70, 75)

**Perubahan entalpi.** Perubahan kalor yang terjadi dalam reaksi kimia pada tekanan konstan. (38, 43, 47, 101)

**pH.** logaritma negatif dari konsentrasi ion hydrogen dalam larutan berair. (126, 127, 129, 130, 131, 132, 134)

**Reaksi eksoterm.** Reaksi yang berlangsung dengan melepaskan kalor ke lingkungan. (35, 37, 51, 98)

**Reaksi endoterm.** Reaksi yang berlangsung dengan menyerap kalor dari lingkungan. (35, 36, 51, 98)

**Reaksi kimia.** Perubahan satu atau lebih unsur atau senyawa kimia membentuk senyawa baru. (36, 57, 59, 64, 83, 184, 186)

**Sistem terbuka.** Sistem yang memungkinkan terjadi pertukaran energi dan materi dengan lingkungannya. (33)



**Sistem terisolasi.** Sistem yang tidak memungkinkan terjadi pertukaran energi dan materi dengan lingkungannya. (33, 34)

**Sistem tertutup.** Sistem yang memungkinkan terjadi pertukaran energi tetapi tidak materi dengan lingkungannya. (33, 34)

**Sistem.** Bagian dari alam semesta yang menjadi pusat perhatian. (33, 96)

**Stoikiometri.** Hubungan kuantitatif antara reaktan dan produk dalam reaksi kimia. (58)

**Teori tumbukan.** Teori yang menyatakan bahwa reaksi kimia terjadi karena tumbukan antar molekul reaktan. (63, 64, 65, 75)

**Termodinamika.** Cabang ilmu kimia tentang pertukaran kalor dan bentuk energi lainnya. (33, 34)

**Termokimia.** Cabang ilmu kimia tentang perubahan kalor dalam reaksi kimia. (32, 33, 37, 44, 50)

**Tetapan ionisasi asam ( $K_a$ ).** Tetapan kesetimbangan untuk ionisasi asam lemah. (124, 136, 152, 154)

**Tetapan ionisasi basa ( $K_b$ ).** Tetapan kesetimbangan untuk ionisasi basa lemah. (136, 152)

**Tetapan kesetimbangan.** Hasilbagi konsentrasi produk dan reaktan, masing-masing dipangkatkan dengan koefisien stoikiometri. (89, 90, 92, 93, 95, 98, 99, 102, 103, 121)

**Tetapan laju reaksi.** Tetapan kesetimbangan yang berhubungan dengan laju reaksi dan konsentrasi reaktan. (69, 75)

**Titik akhir.** Terjadi pada titrasi saat indikator mengubah warna. (131)

**Titrasi asam basa.** Proses titrasi yang melibatkan penetralan asam dan basa. (131, 136)

## Daftar Pustaka

- Abdulrajak, R. 1984. *Penuntun Praktikum Kimia SMA*. Bandung: Ganeca Exact.
- Achelis, Elisabeth, et-al. 2000. *Ilmu Pengetahuan Populer*. Edisi kedelapan. Jakarta: Grolier International, Inc - PT. Widyadara.
- Ay, Suroso, dkk. 2003. *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*. Jakarta: CV. Tarity Samudra Berlian.
- Brady, James E. (Terjemahan: Sukmariah Maun, dkk). 1999. *Kimia Universitas Azas dan Struktur. Jilid 1*. Edisi kelima. Jakarta : Binarupa Aksara.
- Chang, Raymond. 2002. *Chemistry. Edisi ketujuh*. New York: McGraw-Hill Co, Inc.
- Chang, Raymond. (Terjemahan: Muhamad A.M., dkk). 2005. *Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti. Jilid 1*. Edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Chang, Raymond. (Terjemahan: Suminar S.A). 2005. *Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti. Jilid 2*. Edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Corwin, Charles H. 2001. *Introductory Chemistry: Concepts & Connections 3rd ed*. New Jersey: Prentice Hall
- Depdiknas. 2006. *Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan: Standar Kompetensi Mata Pelajaran Kimia Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah*, Jakarta.
- Ebbing, Darrel D. 1996. *General Chemistry*. Boston: Houghton Mifflin Co.
- Erbreeth, Rudiger. 1999. *Tabel Referensi Lengkap*. Jakarta: Erlangga.
- Lukman, Cecilia (ed). 2005. *Oxford Ensiklopedi Pelajar*, Jakarta: Grolier International - PT. Widyadara.
- Keenan, Charles W., Kleinfelter, D.C., Wood, J.H. (Terjemahan: A.H. Pudjaatmaka). 1984. *Kimia untuk Universitas*. Jilid 1. Edisi keenam. Jakarta: Erlangga.
- Kroschwitz, J.I., Winokur, M. 1987. *Chemistry: A First Course 2nd ed*. New York: McGraw-Hill, Inc

- Kroschwitz, J.I., Winokur, M., Petrin, J. 1987. *Chemistry: A First Laboratory Course 2nd ed.* New York : McGraw-Hill, Inc
- Malone, Leo J. 1997. *Basic Concept of Chemistry 5th ed.* New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Masterton, W.L., & Hurley, C.N., 1989. *Chemistry: Principles & Reactions.* Philadelphia: Saunders College Pub.
- Oxtoby, David W., Gillis H. P., Nachtrieb. N. H. (Terjemahan: Suminar S. A.) 2001. *Prinsip-prinsip Kimia Modern.* Edisi keempat. Jilid 1. Jakarta : Erlangga
- Petrucci, Ralph H. (Terjemahan: Suminar S.A). 1987. *Kimia Dasar, Prinsip dan Terapan Modern.* Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Pudjatmaka, Hadyana. A dan Qodratillah, T. Meity. 2002. *Kamus Kimia.* Jakarta: Balai Pustaka.
- Syukur, Abdul, dkk. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar.* Jakarta: Ichtiar Baru Van Hoeve.
- Tim Penulis. 2002. *Kamus Besar Bahasa Indonesia.* Jakarta: Balai Pustaka.
- [www.bbc.co.uk](http://www.bbc.co.uk)
- [www.corroton.doctors.org](http://www.corroton.doctors.org)
- [www.free.vsm.org](http://www.free.vsm.org)
- [www.sistem.koloid.tripod.com](http://www.sistem.koloid.tripod.com)
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

# Indeks

## A

adsorpsi 174, 176, 177, 187  
aerosol 173, 177  
arrhenius 117, 135  
asam 114, 116, 117, 118  
asam konjugat 118, 143  
atom pusat 16  
Aufbau 12, 27  
azas Le Chatelier 96, 97, 100, 103, 159

## B

basa 114, 116, 117, 118, 135  
basa konjugasi 118, 135, 142  
basa konjugat 118, 141  
bilangan kuantum 5, 6, 7, 10  
busa 172

## C

Cato Guldberg 89

## D

derajat disosiasi 86  
dispersi 169, 182, 185  
disosiasi termal 86

## E

efek Tyndall 174, 175, 187  
eksitasi 4  
elektrolit 116, 121, 150, 186  
elektron 2, 3, 4, 5, 9, 10, 16  
emulgator 179  
emulsi 172, 173, 179  
energi aktivasi 64, 66, 67  
energi ikatan 47  
energi kinetik 34, 64, 66  
energi-dalam 34  
entalpi 35, 38, 44, 51  
Erwin Schrodinger 4, 26

## F

fase terdispersi 169, 170, 172, 180  
Fritz Haber 100  
Fritz London 24

## G

G.H. Hess 44  
gaya dipol-dipol 24  
gaya disperse 24  
gaya Van der Waals 24, 176  
gerak Brown 174, 176, 187  
Gilbert N. Lewis 119

## H

H.M. Powell 16, 27  
Henri Louis Le Chatelier 96  
hibridisasi 21  
hidrofil 180, 181  
hidrofob 180, 181  
hidrolisis 150, 151, 152, 153, 163  
hidrolisis garam 140, 150, 152, 163  
hukum Hess 44  
hukum kesetimbangan 121  
hukum laju reaksi 75  
Hund 11

## I

ikatan hidrogen 24, 26  
indikator 129, 136  
ion senama 159, 160, 163  
ionisasi 116, 117, 121, 136, 142  
ionisasi asam 88, 140  
irreversible 83

## J

J.D. Van der Waals 24  
J.N. Bronsted 118

## K

kalor 33, 34, 40, 50, 51  
kalorimeter 39, 40, 50  
Karl Bosch 100  
katalisator 63, 67, 68, 75, 99, 101  
kelarutan 157, 158, 159, 160, 163  
kesetimbangan dinamis 82, 85  
kesetimbangan heterogen 88, 92  
kesetimbangan homogen 88  
koagulasi 174, 179

- koloid  
168, 169, 170, 171, 172, 175,  
176, 177, 178, 179, 182, 184, 185,  
186, 187
- koloid asosiasi 181
- kondensasi 182, 184
- konfigurasi elektron 9, 11
- kongulasi 178
- L**
- laju reaksi 56, 57, 58, 63, 65,  
66, 67, 75, 99, 102
- larutan jenuh 157, 158, 159, 160
- larutan penyangga 140, 141,  
144, 145, 149, 162, 163
- lingkungan 33
- liofil 180, 181
- liofob 180, 182
- Louis de Broglie 4
- M**
- Max Planck 3
- medium pendispersi 169, 170,  
172, 176, 186
- mekanika kuantum 2, 4, 5, 21
- momen dipol 24
- N**
- N.V. Sidgwick 16, 27
- Niels Bohr 3
- O**
- orbital 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 21
- orbital hibrid 21
- orde reaksi 68, 69, 70, 75
- P**
- pasangan elektron bebas 17
- pasangan elektron ikatan 16
- peptisasi 186
- perubahan entalpi 38, 43, 47, 101
- Peter Waage 89
- proses Bredig 186
- R**
- R.J. Gillespie 16
- R.S. Nyholm 16
- reaksi eksoterm 35, 37, 51, 98
- reaksi endoterm 35, 36, 51, 98
- reaksi hidrolisis 184
- reaksi kimia 36, 57, 59, 64, 83,  
184, 186
- reaksi substitusi 184
- reversible 83
- Robert Brown 176
- S**
- S.P. Sorensen 127
- sistem 33, 96
- sol 172
- stoikiometri 58
- suspensi 169, 171, 182, 185, 186
- Svante Arrhenius 115
- T**
- T.M. Lowry 118
- teori tumbukan 63, 64, 65, 75
- terdispersi 178
- termodinamika 33, 34
- termokimia 32, 33, 37, 44, 50
- tetapan ionisasi 144
- tetapan ionisasi air 154
- tetapan ionisasi asam 124, 136,  
152, 154
- tetapan ionisasi basa 136, 152
- tetapan kesetimbangan 89, 90,  
92, 93, 95, 98, 99, 102, 103,  
121
- tetapan laju reaksi 69, 75
- Thomas Graham 170
- titik akhir titrasi 131
- titik ekuivalen 132
- titrasi 131, 136
- Tyndall 175
- W**
- Wolfgang Pauli 10

## Lampiran:

### Unsur-unsur Kimia

Nilai dalam kurung kurawal menunjukkan massa dari jenis atom unsur bersangkutan yang sudah lama dikenal.

Unsur	Simbol Atom	Nomor Atom	Massa Atom (sma)	Bilangan Oksidasi	Elektro-negativitas
Aktinium	Ac	89	227	+3	1,1
Aluminium	Al	13	27	+3	1,5
Amerisium	Am	95	[243]	+3	1,3
Antimon	Sb	51	122	+3; +5; -3	1,9
Argentum (perak)	Ag	47	108	+1	1,9
Argon	Ar	18	40	±0	
Arsen	As	33	75	+3; +5; -3	2,0
Astatin	At	85	[210]	-1	2,2
Aurun (emas)	Au	79	197	+1; +3	2,4
Barium	Ba	56	137	+2	0,9
Barkelium	Bk	97	[247]	+3	1,3
Berilium	Be	4	9	+2	1,5
Bismut	Bi	83	209	+3; -3	1,9
Boron	B	5	11	+3	2,0
Brom	Br	35	80	+1; +5; -1	2,8
Disprosium	Dy	66	162,5	+3	1,2
Einsteinium	Es	99	[252]		1,3
Erbium	Er	68	167	+3	1,2
Eropium	Eu	63	152	+3	1,2
Fermium	Fm	100	[257]		1,3
Ferrum (besi)	Fe	26	56	+2; +3; +6	1,8
Fluor	F	9	19	-1	4,0
Fosfor	P	15	31	+3; +5; -3	2,1
Fransium	Fr	87	[223]	+1	0,7
Gadolinium	Gd	64	157	+3	1,1
Gallium	Ga	31	70	+3	1,6
Germanium	Ge	32	72,5	+4	1,8
Hafnium	Hf	72	178,5	+4	1,3
Helium	He	2	4	±0	
Hidrogen	H	1	1	+1; -1	2,1
Holmium	Ho	67	165	+3	1,2
Indium	In	49	115	+3	1,7
Iod	I	53	127	+1; +5; +7; -1	2,5
Iridium	Ir	77	192	+3; +4	2,2
Iterbium	Yb	70	173	+3	1,1
Itrium	Y	39	89	+3	1,3

Unsur	Simbol Atom	Nomor Atom	Massa Atom (sma)	Bilangan Oksidasi	Elektro-negativitas
Kadmium	Cd	48	112,5	+2	1,7
Kalifornium	Cf	98	[251]	+3	1,3
Kalium	K	19	39	+1	0,8
Kalsium	Ca	20	40	+2	1,0
Karbon	C	6	12	+2; +4; -2	8,5
Klor	Cl	17	35,5	+1; +3; +5; +7; -1	3,0
Kobalt	Co	27	59	+2; +3	1,8
Kripton	Kr	36	84	±0	
Krom	Cr	24	52	+2; +3; +6	1,6
Kurium	Cm	96	[247]	+3	1,3
Lantanum	La	57	139	+3	1,1
Litium	Li	3	7	+1	1,0
Lutesium	Lu	71	175	+3	1,2
Magnesium	Mg	12	24	+2	1,2
Mangan	Mn	25	55	+2; +4; +6; +7	1,5
Molibdenum	Mo	42	96	+6	1,8
Natrium	Na	11	23	+1	0,9
Neodimium	Nd	60	144	+3	1,2
Neon	Ne	10	20	±0	
Neptunium	Np	93	[237]	+5	1,3
Nikel	Ni	28	59	+2	1,8
Niobium	Nb	41	93	+5	1,6
Nitrogen	N	7	14	+3; +5; -3	3,0
Oksigen	O	8	16	-2	3,5
Osmium	Os	76	190	+4; +8	2,2
Paladium	Pd	46	106	+2; +4	2,2
Platina	Pt	78	195	+2; +4	2,2
Plutonium	Pu	94	[244]	+4	1,3
Polonium	Po	84	[209]	+4; -2	2,0
Praseodimium	Pr	59	141	+3	1,1
Prometium	Pm	61	[145]	+3	1,2
Protaktinium	Pa	91	231	+5	1,5
Radium	Ra	88	226	+2	0,9
Radon	Rn	86	[222]	±0	
Raksa (hidrogrum)	Hg	80	200,5	+1; +2	1,9
Renium	Re	75	186	+7	1,9
Rodium	Rh	45	103	+3; +4	2,2
Rubidium	Rb	37	85,5	+1	0,8
Rutenium	Ru	44	101	+4; +8	2,2
Sesium	Cs	55	133	+1	0,7
Samarium	Sm	62	150	+3	1,2
Selenium	Se	34	79	+4; +6; -2	2,4

Unsur	Simbol Atom	Nomor Atom	Massa Atom (sma)	Bilangan Oksidasi	Elektro-negativitas
Seng	Zn	30	65	+2	1,6
Serium	Ce	58	140	+3	1,1
Silisium	Si	14	28	+4; -4	1,8
Skandium	Sc	21	45	+3	1,3
Strontium	Sr	38	87,5	+2	1,0
Sulfur	S	16	32	+4; +6; -2	2,5
Talium	Tl	81	204	+3	1,8
Tantal	Ta	73	181	+5	1,5
Teknesium	Tc	43	[98]	+7	1,9
Telurium	Te	52	127,5	+4; +6; -2	2,1
Tembaga	Cu	29	63,5	+1; +2	1,9
Terbium	Tb	65	159	+3	1,2
Timah	Sn	50	119	+2; +4	1,8
Timbal	Pb	82	207	+2; +4	1,8
Titan	Ti	22	48	+4	1,5
Torium	Th	90	232	+4	1,3
Tulium	Tm	69	169	+3	1,2
Uranium	U	92	238	+4; +5; +6	1,7
Vanadium	V	23	51	+5	1,6
Wolfram	W	74	184	+6	1,7
Xenon	Xe	54	131	±0	
Zirkonium	Zr	40	91	+4	1,4

Sumber: Tabel Referensi Lengkap

#### Jari-jari Atom dan Ion dari Beberapa Unsur ( $10^{-12}$ m)

Simbol Atom	Jari-jari Atom	Jari-jari Ion	Simbol Atom	Jari-jari Atom	Jari-jari Ion	Simbol Atom	Jari-jari Atom	Jari-jari Ion
Al	143	50 (+3)	I	133	216 (-1)	S	104	184 (-2)
Ba	217	135 (+2)	K	231	133 (+1)	Se	117	198 (-2)
Be	112	31 (+2)	Cu	128	72 (+2)	Ag	144	126 (+1)
Br	114	195 (-1)	Li	152	60 (+1)	Si	117	41 (+4)
Cs	262	169 (+1)	Mg	160	65 (+2)	N	70	171 (-3)
Ca	197	97 (+2)	Na	186	95 (+1)	Sr	215	113 (+2)
Cl	99	181 (-1)	P	110	212 (-3)	Te	137	221 (-2)
Fe	124	64 (+3)	Rb	244	148 (+1)	Zn	133	74 (+2)
F	64	136 (-1)	O	66	140 (-2)			

Sumber: Tabel Referensi Lengkap



Konstanta Keasaman ( $K_a$ ) dan Konstanta Kebasaan ( $K_b$ ) pada 22°C

$K_a$ (mol L <sup>-1</sup> )	pK <sub>a</sub>	Rumus Asam	Rumus Basa yang Sesuai	pK <sub>b</sub>	$K_b$ (mol L <sup>-1</sup> )
1,0 × 10 <sup>11</sup>	-11	HI	I <sup>-</sup>	25,00	1,0 × 10 <sup>-25</sup>
1,0 × 10 <sup>10</sup>	-10	HClO <sub>4</sub>	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	24,00	1,0 × 10 <sup>-24</sup>
1,0 × 10 <sup>9</sup>	-9	HBr	Br <sup>-</sup>	23,00	1,0 × 10 <sup>-23</sup>
1,0 × 10 <sup>7</sup>	-7	HCl	Cl <sup>-</sup>	21,00	1,0 × 10 <sup>-21</sup>
1,0 × 10 <sup>3</sup>	-3	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	17,00	1,0 × 10 <sup>-17</sup>
55,5	-1,74	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O	15,74	1,8 × 10 <sup>-16</sup>
2,1 × 10 <sup>1</sup>	-1,32	HNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15,32	4,8 × 10 <sup>-16</sup>
6,6 × 10 <sup>-1</sup>	0,18	[(NH <sub>2</sub> )CO(NH <sub>3</sub> )] <sup>+</sup>	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	13,82	1,9 × 10 <sup>-14</sup>
5,6 × 10 <sup>-2</sup>	1,25	HOOC-COOH	HOOC-COO <sup>-</sup>	12,75	1,7 × 10 <sup>-13</sup>
1,5 × 10 <sup>-2</sup>	1,81	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12,19	6,5 × 10 <sup>-13</sup>
1,2 × 10 <sup>-2</sup>	1,92	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	12,08	8,3 × 10 <sup>-13</sup>
7,5 × 10 <sup>-3</sup>	2,12	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	11,88	1,3 × 10 <sup>-12</sup>
6,0 × 10 <sup>-3</sup>	2,22	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup>	[Fe(OH)(H <sub>2</sub> O) <sub>5</sub> ] <sup>2+</sup>	11,78	1,7 × 10 <sup>-12</sup>
7,2 × 10 <sup>-4</sup>	3,14	HF	F <sup>-</sup>	10,86	1,4 × 10 <sup>-11</sup>
4,5 × 10 <sup>-4</sup>	3,35	HNO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	10,65	2,2 × 10 <sup>-11</sup>
1,8 × 10 <sup>-4</sup>	3,75	HCOOH	HCOO <sup>-</sup>	10,25	5,6 × 10 <sup>-11</sup>
2,6 × 10 <sup>-5</sup>	4,58	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	9,42	3,8 × 10 <sup>-10</sup>
1,8 × 10 <sup>-5</sup>	4,75	CH <sub>3</sub> COOH	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	9,25	5,6 × 10 <sup>-10</sup>
1,4 × 10 <sup>-5</sup>	4,85	[Al(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup>	[Al(OH)(H <sub>2</sub> O) <sub>5</sub> ] <sup>2+</sup>	9,15	7,1 × 10 <sup>-10</sup>
3,0 × 10 <sup>-7</sup>	6,52	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7,48	3,3 × 10 <sup>-8</sup>
1,2 × 10 <sup>-7</sup>	6,92	H <sub>2</sub> S	HS <sup>-</sup>	7,08	8,3 × 10 <sup>-8</sup>
9,1 × 10 <sup>-8</sup>	7,04	HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6,96	1,1 × 10 <sup>-7</sup>
6,2 × 10 <sup>-8</sup>	7,20	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6,80	1,6 × 10 <sup>-7</sup>
5,6 × 10 <sup>-10</sup>	9,25	NHO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>3</sub>	4,75	1,8 × 10 <sup>-5</sup>
4,0 × 10 <sup>-10</sup>	9,40	HCN	CN <sup>-</sup>	4,60	2,5 × 10 <sup>-5</sup>
2,5 × 10 <sup>-10</sup>	9,60	[Zn(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup>	[Zn(OH)(H <sub>2</sub> O) <sub>5</sub> ] <sup>+</sup>	4,40	4,0 × 10 <sup>-5</sup>
1,3 × 10 <sup>-10</sup>	9,89	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sup>-</sup>	4,11	7,8 × 10 <sup>-5</sup>
4,0 × 10 <sup>-11</sup>	10,40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	3,60	2,5 × 10 <sup>-4</sup>
4,4 × 10 <sup>-13</sup>	12,36	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	1,64	2,3 × 10 <sup>-2</sup>
1,0 × 10 <sup>-13</sup>	13,00	HS <sup>-</sup>	S <sup>2-</sup>	1,00	1,0 × 10 <sup>-1</sup>
1,8 × 10 <sup>-16</sup>	15,74	H <sub>2</sub> O	OH <sup>-</sup>	-1,74	55,5
1,0 × 10 <sup>-23</sup>	23	NH <sub>3</sub>	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-9	1,0 × 10 <sup>9</sup>
1,0 × 10 <sup>-24</sup>	24	OH <sup>-</sup>	O <sup>2-</sup>	-10	1,0 × 10 <sup>10</sup>

Sumber: Tabel Referensi Lengkap

### Kelarutan Beberapa Garam dalam Air

Kelarutan dinyatakan dalam jumlah g garam yang dapat larut dalam 100 g air pada 20°C dan 1 atm

Ion	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	I <sup>-</sup>	S <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Na <sup>+</sup>	36	91	179	88	19	19	22	12
K <sup>+</sup>	34	66	144	32	-	11	112	23
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	37	74	172	188	-	75	100	20
Mg <sup>2+</sup>	54	102	148	71	-	36	2 × 10 <sup>-1</sup>	-
Ca <sup>2+</sup>	75	142	204	127	-	2 × 10 <sup>-1</sup>	2 × 10 <sup>-1</sup>	2 × 10 <sup>-2</sup>
Ba <sup>2+</sup>	36	104	170	9	-	3 × 10 <sup>-4</sup>	2 × 10 <sup>-3</sup>	-
Cu <sup>2+</sup>	77	122	-	122	3 × 10 <sup>-3</sup>	21	-	-
Ag <sup>+</sup>	2 × 10 <sup>-4</sup>	1 × 10 <sup>-5</sup>	3 × 10 <sup>-7</sup>	218	1 × 10 <sup>-5</sup>	8 × 10 <sup>-1</sup>	3 × 10 <sup>-3</sup>	-
Zn <sup>2+</sup>	367	447	432	118	-	54	2 × 10 <sup>-2</sup>	-
Pb <sup>2+</sup>	1	9 × 10 <sup>-1</sup>	7 × 10 <sup>-2</sup>	52	9 × 10 <sup>-5</sup>	4 × 10 <sup>-3</sup>	1 × 10 <sup>-4</sup>	1 × 10 <sup>-7</sup>
Fe <sup>2+</sup>	62	-	-	-	6 × 10 <sup>-4</sup>	27	-	-
Al <sup>3+</sup>	46	-	-	75	-	36	-	-

Sumber: Tabel Referensi Lengkap

### Hasil Kali Kelarutan $K_{sp}$ pada 25°C

Nama Zat	Rumus Kimia	Hasil Kali Kelarutan $K_{sp}$		Eksponen Hasil Kali Kelarutan ( $pK_{sp}$ )
		Nilai Bilangan	Satuan	
Aluminium hidroksida	Al(OH) <sub>3</sub>	1,0 × 10 <sup>-33</sup>	mol <sup>4</sup> × L <sup>-4</sup>	33,0
Barium fosfat	Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	6,0 × 10 <sup>-38</sup>	mol <sup>5</sup> × L <sup>-5</sup>	37,2
Barium hidroksida	Ba(OH) <sub>2</sub>	4,3 × 10 <sup>-3</sup>	mol <sup>3</sup> × L <sup>-3</sup>	2,4
Barium karbonat	BaCO <sub>3</sub>	8,1 × 10 <sup>-9</sup>	mol <sup>2</sup> × L <sup>-2</sup>	8,1
Barium sulfat	BaSO <sub>4</sub>	1,0 × 10 <sup>-10</sup>	mol <sup>2</sup> × L <sup>-2</sup>	10,0
Besi(II) fosfat	Fe <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,0 × 10 <sup>-36</sup>	mol <sup>5</sup> × L <sup>-5</sup>	36,0
Besi(II) hidroksida	Fe(OH) <sub>2</sub>	4,8 × 10 <sup>-16</sup>	mol <sup>3</sup> × L <sup>-3</sup>	15,3
Besi(II) sulfida	FeS	5,0 × 10 <sup>-18</sup>	mol <sup>2</sup> × L <sup>-2</sup>	17,3
Besi(III) fosfat	FePO <sub>4</sub>	4,0 × 10 <sup>-27</sup>	mol <sup>2</sup> × L <sup>-2</sup>	26,4
Besi(III) hidroksida	Fe(OH) <sub>3</sub>	3,8 × 10 <sup>-38</sup>	mol <sup>4</sup> × L <sup>-4</sup>	37,4
Bismut(III) sulfida	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	1,6 × 10 <sup>-72</sup>	mol <sup>5</sup> × L <sup>-5</sup>	71,8
Kadmium hidroksida	Cd(OH) <sub>2</sub>	1,2 × 10 <sup>-14</sup>	mol <sup>3</sup> × L <sup>-3</sup>	13,9
Kadmium karbonat	CdCO <sub>3</sub>	2,5 × 10 <sup>-14</sup>	mol <sup>2</sup> × L <sup>-2</sup>	13,6
Kadmium sulfida	CdS	1,0 × 10 <sup>-29</sup>	mol <sup>2</sup> × L <sup>-2</sup>	29,0
Kalsium fosfat	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,0 × 10 <sup>-25</sup>	mol <sup>5</sup> × L <sup>-5</sup>	25,0
Kalsium hidroksida	Ca(OH) <sub>2</sub>	5,5 × 10 <sup>-6</sup>	mol <sup>3</sup> × L <sup>-3</sup>	5,3
Kalsium karbonat	CaCO <sub>3</sub>	4,8 × 10 <sup>-9</sup>	mol <sup>2</sup> × L <sup>-2</sup>	8,3
Kalsium oksalat	Ca(COO) <sub>2</sub>	2,6 × 10 <sup>-9</sup>	mol <sup>2</sup> × L <sup>-2</sup>	8,6
Kalsium sulfat	CaSO <sub>4</sub>	6,1 × 10 <sup>-5</sup>	mol <sup>2</sup> × L <sup>-2</sup>	4,2

Nama Zat	Rumus Kimia	Hasil Kali Kelarutan $K_{sp}$		Eksponen Hasil Kali Kelarutan ( $pK_{sp}$ )
		Nilai Bilangan	Satuan	
Magnesium fosfat	$Mg_3(PO_4)_2$	$6,0 \times 10^{-23}$	$mol^5 \times L^{-5}$	22,2
Magnesium hidroksida	$Mg(OH)_2$	$2,6 \times 10^{-12}$	$mol^3 \times L^{-3}$	11,6
Magnesium karbonat	$MgCO_3$	$2,6 \times 10^{-5}$	$mol^2 \times L^{-2}$	4,6
Mangan hidroksida	$Mn(OH)_2$	$4,0 \times 10^{-14}$	$mol^3 \times L^{-3}$	13,4
Nikel sulfida	$NiS$	$1,0 \times 10^{-26}$	$mol^2 \times L^{-2}$	26,0
Nikel(II) hidroksida	$Ni(OH)_2$	$1,6 \times 10^{-14}$	$mol^3 \times L^{-3}$	13,8
Perak bromida	$AgBr$	$6,3 \times 10^{-13}$	$mol^2 \times L^{-2}$	12,2
Perak fosfat	$Ag_3PO_4$	$1,8 \times 10^{-18}$	$mol^4 \times L^{-4}$	17,7
Perak hidroksida	$AgOH$	$1,5 \times 10^{-8}$	$mol^2 \times L^{-2}$	7,8
Perak iodida	$AgI$	$1,5 \times 10^{-16}$	$mol^2 \times L^{-2}$	15,8
Perak karbonat	$Ag_2CO_3$	$6,2 \times 10^{-12}$	$mol^3 \times L^{-3}$	11,2
Perak klorida	$AgCl$	$1,6 \times 10^{-10}$	$mol^2 \times L^{-2}$	9,8
Perak kromat	$Ag_2CrO_4$	$4,0 \times 10^{-12}$	$mol^3 \times L^{-3}$	11,4
Perak sulfida	$Ag_2S$	$1,6 \times 10^{-49}$	$mol^2 \times L^{-3}$	48,8
Raksa(I) klorida (kalomel)	$Hg_2Cl_2$	$2,0 \times 10^{-18}$	$mol^3 \times L^{-3}$	17,7
Raksa(II) sulfida (hitam)	$HgS$	$1,0 \times 10^{-52}$	$mol^2 \times L^{-2}$	52,0
Seng karbonat	$ZnCO_3$	$6,0 \times 10^{-11}$	$mol^2 \times L^{-2}$	10,2
Tembaga(I) klorida	$CuCl$	$1,0 \times 10^{-6}$	$mol^2 \times L^{-2}$	6,0
Tembaga(II) hidroksida	$Cu(OH)_2$	$5,6 \times 10^{-20}$	$mol^3 \times L^{-3}$	19,3
Tembaga(II) sulfida	$CuS$	$8,0 \times 10^{-45}$	$mol^2 \times L^{-2}$	44,1
Timbal (II) hidroksida	$Pb(OH)_2$	$2,8 \times 10^{-16}$	$mol^3 \times L^{-3}$	15,5
Timbal(II) iodida	$PbI_2$	$8,7 \times 10^{-9}$	$mol^3 \times L^{-3}$	8,1
Timbal(II) karbonat	$PbCO_3$	$3,3 \times 10^{-14}$	$mol^2 \times L^{-2}$	13,5
Timbal(II) klorida	$PbCl_2$	$2,0 \times 10^{-5}$	$mol^3 \times L^{-3}$	4,7
Timbal(II) sulfat	$PbSO_4$	$1,5 \times 10^{-8}$	$mol^2 \times L^{-2}$	7,8
Timbal(II) sulfida	$PbS$	$3,4 \times 10^{-28}$	$mol^2 \times L^{-2}$	27,5

Sumber: Tabel Referensi Lengkap

### Deret Potensial Elektrode Unsur-unsur Logam

Potensial elektrode standar ( $E^\circ$ ) diukur pada 25°C dan 101,3 kPa (1 atm)

Reaksi Oksidator + $Ze^- \rightleftharpoons$ Reduktor	Pasangan Redoks	Potensial Elektrode Standar ( $E^\circ$ ) dalam Volt
$\text{Li}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Li}(s)$	Li <sup>+</sup> /Li	-3,04
$\text{K}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{K}(s)$	K <sup>+</sup> /K	-2,92
$\text{Ba}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ba}(s)$	Ba <sup>2+</sup> /Ba	-2,90
$\text{Ca}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ca}(s)$	Ca <sup>2+</sup> /Ca	-2,87
$\text{Na}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Na}(s)$	Na <sup>+</sup> /Na	-2,71
$\text{Mg}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}(s)$	Mg <sup>2+</sup> /Mg	-2,36
$\text{Be}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Be}(s)$	Be <sup>2+</sup> /Be	-1,85
$\text{Al}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}(s)$	Al <sup>3+</sup> /Al	-1,66
$\text{Ti}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Ti}(s)$	Ti <sup>3+</sup> /Ti	-1,21
$\text{Mn}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}(s)$	Mn <sup>2+</sup> /Mn	-1,18
$\text{V}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{V}(s)$	V <sup>2+</sup> /V	-1,17
$\text{Zn}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}(s)$	Zn <sup>2+</sup> /Zn	-0,76
$\text{Cr}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Cr}(s)$	Cr <sup>3+</sup> /Cr	-0,74
$\text{Fe}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(s)$	Fe <sup>2+</sup> /Fe	-0,41
$\text{Cd}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}(s)$	Cd <sup>2+</sup> /Cd	-0,40
$\text{Co}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Co}(s)$	Co <sup>2+</sup> /Co	-0,28
$\text{Ni}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}(s)$	Ni <sup>2+</sup> /Ni	-0,23
$\text{Sn}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}(s)$	Sn <sup>2+</sup> /Sn	-0,14
$\text{Pb}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}(s)$	Pb <sup>2+</sup> /Pb	-0,13
$\text{Fe}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(s)$	Fe <sup>3+</sup> /Fe	-0,02
$2\text{H}_3\text{O}^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$	2H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	0,00 (pH = 0)
$\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}(s)$	Cu <sup>2+</sup> /Cu	+0,35
$\text{Cu}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}(s)$	Cu <sup>+</sup> /Cu	+0,52
$\text{Hg}_2^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}(l)$	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /Hg	+0,79
$\text{Ag}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(s)$	Ag <sup>+</sup> /Ag	+0,80
$\text{Hg}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Hg}(l)$	Hg <sup>2+</sup> /Hg	+0,85
$\text{Pt}^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pt}(s)$	Pt <sup>2+</sup> /Pt	+1,20
$\text{Au}^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons \text{Au}(s)$	Au <sup>3+</sup> /Au	+1,50
$\text{Au}^+(aq) + e^- \rightleftharpoons \text{Au}(s)$	Au <sup>+</sup> /Au	+1,70

Bentuk zat: s = zat padat; l = zat cair; g = zat gas

Sumber: Tabel Referensi Lengkap

### Deret Potensial Elektrode untuk Beberapa Reaksi Redoks

Potensial standar diukur pada 25°C dan 101,3 kPa (1 atm)

Reaksi		Potensial Elektrode
Oksidator + $Ze^-$	Reduktor	Standar ( $E^\circ$ ) dalam Volt
$2H_2O(l) + 2e^-$	$H_2(g) + 2OH^-(aq)$	-0,83* (pH = 14)
$Cd(OH)_2(s) + 2e^-$	$Cd(s) + 2OH^-(aq)$	-0,82* (pH = 14)
$2CO_2(g) + 2e^-$	$C_2O_4^{2-}(aq)$	-0,49
$2H_3O^+(aq) + 2e^-$	$H_2(g) + 2H_2O(l)$	-0,41* (pH = 7)
$Cr^{3+}(aq) + e^-$	$Cr^{2+}(aq)$	-0,41
$PbSO_4(s) + 2e^-$	$Pb(s) + SO_4^{2-}(aq)$	-0,36
$CO_2(g) + 2H_3O^+(aq) + 2e^-$	$HCOOH(l) + 2H_2O(l)$	-0,20* (pH = 0)
$HCOOH(l) + 2H_3O^+(aq) + 2e^-$	$HCHO(g) + 3H_2O(l)$	+0,06* (pH = 0)
$2H_3O^+(aq) + S(s) + 2e^-$	$H_2S(g) + 2H_2O(l)$	+0,14
$Cu^{2+}(aq) + e^-$	$Cu^+(aq)$	+0,17
$AgCl(s) + e^-$	$Ag(s) + Cl^-(aq)$	+0,22
$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^-$	$4OH^-(aq)$	+0,40* (pH = 14)
$AsO_4^{3-}(aq) + 2H_3O^+(aq) + 2e^-$	$AsO_3^{3-}(aq) + 3H_2O(l)$	+0,56* (pH = 0)
$MnO_4^-(aq) + H_2O(l) + 3e^-$	$MnO_2(l) + 2H_2O(l)$	+0,59* (pH = 14)
$O_2(g) + 2H_3O^+(aq) + 2e^-$	$H_2O_2(l) + 2H_2O(l)$	+0,68* (pH = 0)
$Fe^{3+}(aq) + e^-$	$Fe^{2+}(aq)$	+0,77
$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^-$	$4OH^-(aq)$	+0,82* (pH = 7)
$NO_3^-(aq) + 4H_3O^+(aq) + 3e^-$	$NO(g) + 6H_2O(l)$	+0,96* (pH = 0)
$O_2(g) + 4H_3O^+(l) + 4e^-$	$6H_2O(l)$	+1,23* (pH = 0)
$MnO_2(s) + 4H_3O^+(aq) + 2e^-$	$Mn^{2+}(aq) + 6H_2O(l)$	+1,23* (pH = 0)
$C_2O_7^{2-}(aq) + 14H_3O^+(aq) + 6e^-$	$2Cr^{3+}(aq) + 21H_2O(l)$	+1,33* (pH = 0)
$PbO_2(s) + 4H_3O^+(aq) + 2e^-$	$Pb^{2+}(aq) + 6H_2O(l)$	+1,46* (pH = 0)
$MnO_4^{2-}(aq) + 8H_3O^+(aq) + 5e^-$	$Mn^{2+}(aq) + 12H_2O(l)$	+1,51* (pH = 0)
$PbO_2(s) + 4H_3O^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^-$	$PbSO_4(s) + 6H_2O(l)$	+1,69* (pH = 0)
$H_2O_2(l) + 2H_3O^+ + 2e^-$	$4H_2O(l)$	+1,77* (pH = 0)
$S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^-$	$2SO_4^{2-}(aq)$	+2,01
$O_3(g) + 2H_3O^+(aq) + 2e^-$	$O_2(g) + 3H_2O(l)$	+2,07

Nilai  $E^\circ_{sel}$  yang tergantung pada pH; s (solid) zat padat; l = (liquid) zat cair; g = zat gas; aq = (aqueous) larut dalam air.

Sumber: Tabel Referensi Lengkap

### Deret Potensial Elektrode Unsur-unsur Nonlogam/Metalloid

Potensial standar diukur pada 25°C dan 101,3 kPa (1 atm)

Reaksi		Pasangan Redoks	Potensial Elektrode Standar ( $E^{\circ}$ ) dalam Volt
Oksidator + $Ze^{-}$	Reduktor		
$\text{Se}(s) + 2e^{-}$	$\text{Se}^{2-}(aq)$	$\text{Se}/\text{Se}^{2-}$	-0,92
$\text{S}(s) + 2e^{-}$	$\text{S}^{2-}(aq)$	$\text{S}/\text{S}^{2-}$	-0,48
$\text{I}_2(s) + 2e^{-}$	$2\text{I}^{-}(aq)$	$\text{I}_2/2\text{I}^{-}$	+0,54
$\text{Br}_2(l) + 2e^{-}$	$2\text{Br}^{-}(aq)$	$\text{Br}_2/2\text{Br}^{-}$	+1,07
$\text{Cl}_2(g) + 2e^{-}$	$2\text{Cl}^{-}(aq)$	$\text{Cl}_2/2\text{Cl}^{-}$	+1,36
$\text{F}_2(g) + 2e^{-}$	$2\text{F}^{-}(aq)$	$\text{F}_2/2\text{F}^{-}$	+2,87

Sumber: Tabel Referensi Lengkap

Tabel Periodik Unsur

1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18																																																																																																																																																												
1A		2A		3A		4A		5A		6A		7A		8A		9A		10A		11A		12A		13A		14A		15A		16A		17A		18A																																																																																																																																																												
1	H	2	He	3	Li	4	Be	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne	11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																																																																																																																																																											
1,008		4,003		6,941	9,012	10,81	12,01	14,01	14,01	16,00	19,00	20,18	26,98	28,09	30,97	32,07	35,45	39,95	40,08	44,96	47,88	50,94	52,00	54,94	55,85	58,93	58,69	63,55	65,38	69,72	72,59	74,92	78,96	79,90	83,80																																																																																																																																																											
11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar	19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr																																																																																																																																											
22,99	24,31	39,10	40,08	44,96	47,88	50,94	52,00	54,94	55,85	58,93	58,69	63,55	65,38	69,72	72,59	74,92	78,96	79,90	83,80	85,47	87,62	88,91	91,22	92,91	95,94	98	101,1	102,9	106,4	107,9	112,4	114,8	118,7	121,8	127,6	126,9	131,3	132,9	137,3	138,9	140,9	144,2	145	150,4	152,0	157,3	158,9	162,5	164,9	167,3	168,9	173,0	175,0																																																																																																																																									
87	Fr	88	Ra	89	Ac**	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260

\* Nilai yang diberikan disini sampai empat angka berarti.  
 \*\* Nilai yang diberikan merupakan massa isotop dengan waktu hidup paling lama (long-lived-isotop)

Sumber: Tabel Referensi Lengkap

## KUNCI PANDUAN PEMBELAJARAN KIMIA XI SMA/MA

### Bab I. Teori Atom Mekanika Kuantum dan Bentuk Molekul

#### A. Pilihan Ganda

- B
- B
- E
- C
- B

#### B. Esai

- Semua elektron mempunyai  $n = 3, l = 2, m = +1/2$  yang berbeda =  $m = -2, m = -1, m = 0, m = 1, m = 2$
- HI dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$

### Bab II. Termokimia

#### A. Pilihan Ganda

- E
- C
- C
- D
- E

#### B. Esai

- a.  $= -726,9 \text{ kJ/mol}$   
b.  $Q = 181,725 \text{ kJ}$
- $\Delta H_c^\circ = 3139 \text{ kJ/mol}$

### Bab III. Laju Reaksi

#### A. Pilihan Ganda

- B
- A
- D
- D
- E

#### B. Esai

- a.  $v = 10^2 [\text{CO}] [\text{O}_2]$   
b. orde 2
- $v = k [\text{A}]^2 [\text{B}]^2$

### Bab IV. Kestimbangan Kimia

#### A. Pilihan Ganda

- C
- A
- A
- B
- D

#### B. Esai

- 0,5 mol
- $K_c = \frac{1}{9}$

### Evaluasi Semester I

#### A. Pilihan Ganda

- B 6. D 10. B 14. A
- C 8. C 12. E

#### B. Esai

- $\Delta H = -20,4 \text{ kJ/mol}$
- 358,75 kJ/mol
- $v = K [\text{BrO}_3^-] [\text{Br}] [\text{H}^+]^2$

### Bab V. Larutan Asam dan Basa

#### A. Pilihan Ganda

- C
- A
- C
- B
- E

#### B. Esai

- a.  $[\text{Ba}(\text{OH})_2] = 5 \times 10^{-3}$   
b.  $8,55 \times 10^{-3} \text{ gram}$
- a.  $1 - \log 5$   
b.  $1 - \log 4$   
c. 50 mL

$\Delta H_c^\circ$



**Bab VI Kesetimbangan Ion dalam Larutan**

**A. Pilihan Ganda**

2. D
4. D
6. A
8. E
10. A

**B. Esai**

3. a.  $2 - \log 2$   
b.  $2 - \frac{1}{2} \log 8$   
c.  $12 + \log 8$   
d.  $9 + \log 4$   
e.  $9 + \log \frac{2}{3}$
5.  $4 \times 10^{-4}$  mol/L

**Bab VII Sistem Koloid**

**A. Pilihan Ganda**

2. A            8. C
4. A            10. E
6. B

**B. Esai**

2. Larutan tidak dapat menghamburkan cahaya, koloid dapat menghamburkan cahaya
4. Untuk mencegah penggumpalan dari partikel gula atau es

**Evaluasi Semester II**

**A. Pilihan Ganda**

2. E    6. D    10. B    14. D
4. C    8. D    12. A

**B. Esai**

2.  $\text{pH} = 9 - 2 \log 2$
4. a.  $4 \times 10^{-2}$   
b.  $32 \times 10^{-6}$

**Evaluasi Akhir**

**A. Pilihan Ganda**

2. E            12. E
4. B            14. B
6. D            16. A
8. D            18. B
10. D           20. B

**B. Esai**

2.  $\Delta H_3 = +41$  kJ/mol
4.  $v = k [A]^2 [B]$
5. 8 kali
6.  $K_c = 1,33$
9. 2,3 mg



Panduan Pembelajaran

# Kimia

Untuk SMA & MA

Kelas

**XI**

ISBN 978-979-068-717-2 (No. Jld lengkap)

ISBN 978-979-068-719-6

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor: 9 Tahun 2009 Tanggal 12 Februari 2009 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp.11.495,-