

Yayan Sunarya  
Agus Setiabudi

# Mudah dan Aktif Belajar Kimia

untuk Kelas XI  
Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah  
Program Ilmu Pengetahuan Alam



# 2



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional





Yayan Sunarya  
Agus Setiabudi

# Mudah dan Aktif Belajar Kimia

untuk Kelas XI  
Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah  
Program Ilmu Pengetahuan Alam

# 2



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta Pada Departemen Pendidikan Nasional  
dilindungi oleh Undang-Undang

**Mudah dan Aktif Belajar Kimia**

untuk Kelas XI Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah  
Program Ilmu Pengetahuan Alam

Penulis : Yayan Sunarya  
Agus Setiabudi  
Penyunting : Yana Hidayat  
Intan Permata Shariati  
Pewajah Isi : Adam Indrayana  
Pewajah Sampul : A. Purnama  
Pereka Ilustrasi : S. Riyadi  
Ukuran Buku : 21 x 29,7 cm

540.7

YAY  
m

YAYAN Sunarya

Mudah dan Aktif Belajar Kimia 2 : Untuk Kelas XI Sekolah Menengah Atas/  
Madrasah Aliyah Program Ilmu Pengetahuan Alam / penulis, Yayan Sunarya, Agus  
Setiabudi ; penyunting, Intan Permata Shariati, Yana Hidayat ; ilustrasi, S. Riyadi.  
— Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.  
vi, 250 hlm. : ilus. ; 30 cm.

Bibliografi : hlm. 250

Indeks

ISBN 978-979-068-712-9 (No. Jil Lengkap)

ISBN 978-979-068-723-3

1. Kimia-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Agus Setiabudi  
III. Intan Permata Shariati V. S. Riyadi

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional  
dari Penerbit Setia Purna Inves, PT

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 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

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

Sampai saat ini, buku-buku kimia untuk SMA/MA yang berkualitas dirasakan masih kurang. Sementara itu, tuntutan terhadap pemahaman prinsip-prinsip ilmu Kimia sangat tinggi. Lebih-lebih perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang didasari oleh ilmu Kimia semakin menantang dan sangat bervariasi dalam aplikasinya. Oleh sebab itu, kami berharap dengan terbitnya buku ini, belajar kimia yang membutuhkan gabungan banyak konsep (baik konsep yang relevan dengan keterampilan maupun konsep baru) dan pengembangan keterampilan analisis bagi siswa SMA/MA dapat terpenuhi.

Ada dua hal yang berkaitan dengan Kimia, yaitu Kimia sebagai produk dan Kimia sebagai proses kerja ilmiah. Kimia sebagai produk adalah pengetahuan Kimia yang berupa fakta, konsep, prinsip, hukum, dan teori. Kimia sebagai proses kerja ilmiah merupakan penalaran (keterampilan) dari hasil penguasaan dalam pembelajaran materi secara praktis dan analisis.

Mata pelajaran Kimia di SMA/MA merupakan panduan untuk mempelajari segala sesuatu tentang zat yang meliputi komposisi, struktur dan sifat, perubahan, dinamika, serta energetika zat yang melibatkan konsep dan aplikasi. Oleh karena itu, ilmu Kimia banyak melibatkan konsep-konsep dan pengembangan keterampilan analisis.

Melihat pentingnya pelajaran Kimia di sekolah, penerbit mencoba menghadirkan buku yang dapat menjadi media belajar yang baik bagi Anda. Sebuah buku yang akan memandu Anda untuk belajar Kimia dengan baik. Sebuah buku yang disusun dan dikembangkan untuk memberikan dasar-dasar pengetahuan, keterampilan, keahlian, dan pengalaman belajar yang bermanfaat bagi masa depan Anda.

Demikianlah persembahan dari penerbit untuk dunia pendidikan. Semoga buku ini dapat bermanfaat.

Bandung, Mei 2007

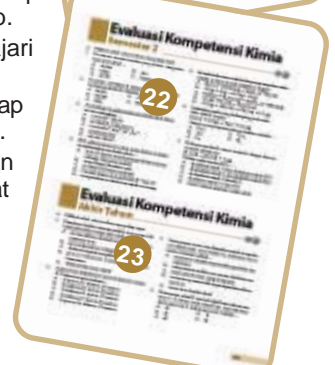
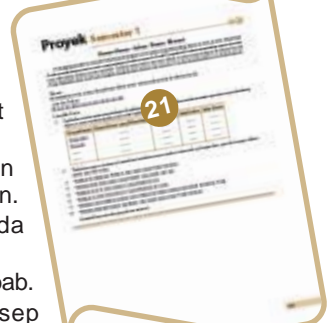
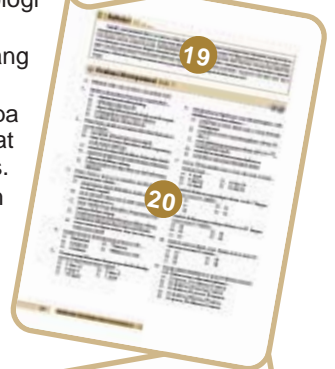
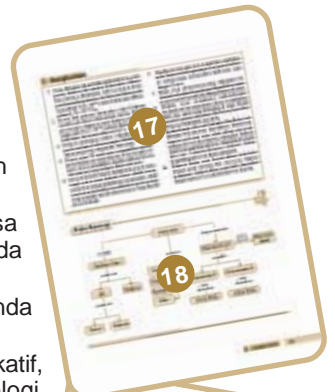
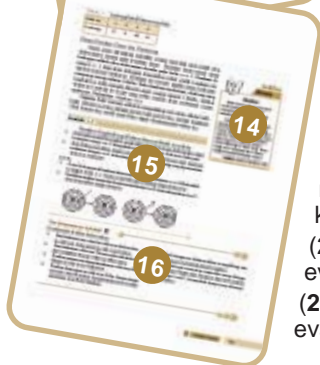
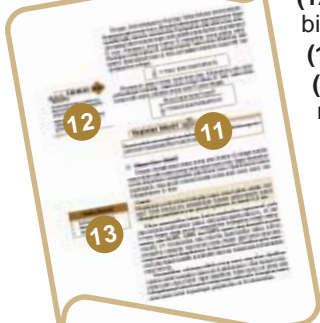
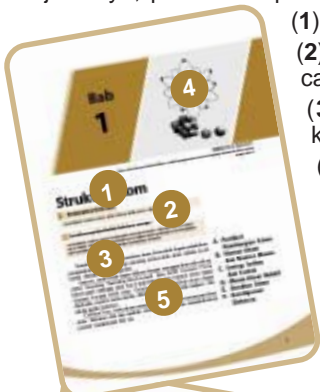
Penerbit

# Panduan untuk Pembaca

Cakupan materi pembelajaran pada buku ini disajikan secara sistematis, komunikatif, dan integratif. Di setiap awal bab dilengkapi gambar pembuka pelajaran, bertujuan memberikan gambaran materi pembelajaran yang akan dibahas, dan mengajarkan Anda konsep berpikir kontekstual dan logis sekaligus merangsang cara berpikir lebih dalam. Selain itu, buku ini juga ditata dengan format yang menarik dan didukung dengan foto dan ilustrasi yang representatif. Bahasa digunakan sesuai dengan tingkat kematangan emosional Anda sehingga Anda lebih mudah memahami konsep materinya.

Buku Mudah dan Aktif Belajar Kimia untuk SMA Kelas XI ini terdiri atas sepuluh bab, yaitu Struktur Atom; Sistem Periodik Unsur-Unsur; Ikatan Kimia; Rumus dan Persamaan Kimia; Hukum Dasar dan Perhitungan Kimia; Larutan Elektrolit dan Nonelektrolit; Reaksi Reduksi Oksidasi; Hidrokarbon; Minyak Bumi; dan Kimia Terapan. Untuk lebih jelasnya, perhatikan petunjuk untuk pembaca berikut.

- (1) **Judul Bab**, disesuaikan dengan tema materi dalam bab.
- (2) **Hasil yang harus Anda capai**, tujuan umum yang harus Anda capai pada bab yang Anda pelajari.
- (3) **Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu**, kemampuan yang harus Anda kuasai setelah mempelajari bab.
- (4) **Gambar Pembuka Bab**, disajikan untuk mengetahui contoh manfaat dari materi yang akan dipelajari.
- (5) **Advanced Organizer**, disajikan untuk menumbuhkan rasa ingin tahu dari materi yang akan dipelajari dan mengarahkan Anda untuk lebih fokus terhadap isi bab.
- (6) **Tes Kompetensi Awal**, merupakan syarat yang harus Anda pahami sebelum memasuki materi pembelajaran.
- (7) **Materi Pembelajaran**, disajikan secara sistematis, komunikatif, integratif, dan sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi sehingga Anda dapat tertantang untuk belajar lebih jauh.
- (8) **Gambar dan Ilustrasi**, sesuai dengan materi dalam bab yang disajikan secara menarik dan mudah dipahami.
- (9) **Aktivitas Kimia**, tugas yang diberikan kepada Anda berupa analisis masalah atau kegiatan di laboratorium sehingga dapat menumbuhkan semangat inovasi, kreativitas, dan berpikir kritis.
- (10) **Mahir Menjawab**, merupakan sarana bagi Anda dalam persiapan menghadapi Ujian Akhir dan SPMB sehingga mempunyai nilai tambah.
- (11) **Kegiatan Inkuiri**, menguji pemahaman Anda secara terbuka berdasarkan konsep yang telah Anda pelajari sehingga Anda tertarik untuk belajar lebih dalam.
- (12) **Catatan**, menyajikan informasi dan keterangan singkat secara bilingual berkaitan dengan konsep yang dipelajari.
- (13) **Kata Kunci**, panduan Anda dalam mempelajari konsep materi.
- (14) **Sekilas Kimia**, berisi informasi menarik dan aplikatif berdasarkan materi bab yang dipelajari sehingga dapat menumbuhkan semangat bekerja keras dan belajar lebih jauh.
- (15) **Contoh**, menyajikan contoh-contoh soal dengan jawaban yang kongkret dan jelas berkaitan dengan materi yang disajikan.
- (16) **Tes Kompetensi Subbab**, menguji pemahaman Anda terhadap materi dalam setiap subbab.
- (17) **Rangkuman**, merupakan ringkasan materi pembelajaran bab.
- (18) **Peta Konsep**, menggambarkan hubungan antarkonsep sehingga memudahkan Anda mempelajari materi dalam bab.
- (19) **Refleksi**, sebagai cermin diri bagi Anda setelah mempelajari materi di akhir pembelajaran setiap bab.
- (20) **Evaluasi Kompetensi Bab**, merupakan penekanan terhadap pemahaman konsep materi, berkaitan dengan materi dalam bab.
- (21) **Proyek Semester**, disajikan agar Anda dapat menggali dan memanfaatkan informasi, menyelesaikan masalah, dan membuat keputusan dalam kerja ilmiah.
- (22) **Evaluasi Kompetensi Kimia Semester**, disajikan untuk evaluasi Anda setelah mempelajari semester yang bersangkutan.
- (23) **Evaluasi Kompetensi Kimia Akhir Tahun**, disajikan untuk evaluasi Anda setelah mempelajari seluruh bab.







iOS segera hadir

# Unduh buku lainnya melalui aplikasi. Gratis.

Buku BSE dilengkapi dengan daftar isi untuk memudahkan navigasi. Tersedia juga majalah, tabloid, buku dan koran yang lebih hemat hingga 80% dibanding edisi cetak.

Unduh aplikasi myedisi reader gratis  
[myedisi.com/reader](https://myedisi.com/reader)

myedisi 

Buku BSE terbaru belum tersedia di myedisi? Sampaikan melalui email [bse@myedisi.com](mailto:bse@myedisi.com)

# Daftar Isi

- Kata Sambutan • iii  
Kata Pengantar • iv  
Panduan untuk Pembaca • v

## Bab 1 Struktur Atom • 1

- A. Teori Atom Modern • 2  
B. Bentuk Orbital • 8  
C. Konfigurasi Elektron Atom Polielektron • 10  
D. Tabel Periodik Unsur-Unsur • 18  
Rangkuman • 21  
Peta Konsep • 22  
Refleksi • 22  
Evaluasi Kompetensi Bab 1 • 23

## Bab 2 Struktur dan Gaya Antarmolekul • 27

- A. Struktur Molekul Dasar • 28  
B. Teori Domain Elektron • 29  
C. Teori Ikatan Valensi dan Hibridisasi • 34  
D. Gaya Antarmolekul • 43  
Rangkuman • 48  
Peta Konsep • 49  
Refleksi • 49  
Evaluasi Kompetensi Bab 2 • 50

## Bab 3 Termokimia • 53

- A. Entalpi dan Perubahannya • 54  
B. Penentuan  $\Delta H$  Reaksi secara Empirik • 59  
C. Penentuan  $H$  Reaksi secara Semiempirik • 63  
D. Kalor Bahan Bakar dan Sumber Energi • 69  
Rangkuman • 73  
Peta Konsep • 74  
Refleksi • 74  
Evaluasi Kompetensi Bab 3 • 75

## Bab 4 Kecepatan Reaksi • 79

- A. Kecepatan Reaksi • 80  
B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kecepatan Reaksi • 84  
C. Kecepatan Reaksi dan Tingkat Reaksi • 88  
D. Teori Tumbukan dan Energi Pengaktifan • 91  
E. Aplikasi Kecepatan Reaksi • 94  
Rangkuman • 97  
Peta Konsep • 98  
Refleksi • 98  
Evaluasi Kompetensi Bab 4 • 99



## **Bab 5**

### **Kesetimbangan Kimia • 103**

- A. Kesetimbangan Dinamis dan Tetapan Kesetimbangan • 104
- B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kesetimbangan • 109
- C. Hubungan Kuantitatif Pereaksi dan Hasil Reaksi • 114
- D. Reaksi Kesetimbangan di Industri Kimia • 122

Rangkuman • 125

Peta Konsep • 126

Refleksi • 126

Evaluasi Kompetensi Bab 5 • 127

Proyek Semester 1 • 132

Evaluasi Kompetensi Kimia

Semester 1 • 133

## **Bab 6**

### **Asam Basa • 137**

- A. Asam Basa Arrhenius • 138
- B. Derajat Kekuatan Asam Basa • 140
- C. Penentuan pH Asam Basa • 145
- D. Asam Basa Bronsted-Lowry dan Lewis • 151

Rangkuman • 156

Peta Konsep • 157

Refleksi • 157

Evaluasi Kompetensi Bab 6 • 158

## **Bab 7**

### **Stoikiometri Larutan dan Titrasi Asam Basa • 161**

- A. Reaksi dalam Larutan • 162
- B. Titrasi Asam Basa • 168

Rangkuman • 174

Peta Konsep • 175

Refleksi • 175

Evaluasi Kompetensi Bab 7 • 176

## **Bab 8**

### **Kesetimbangan Ion-Ion dalam Larutan • 179**

- A. Larutan Asam Basa • 180

- B. Hidrasi dan Hidrolisis Garam-Garam • 181

- C. Larutan Penyangga • 187

- D. Kesetimbangan Kelarutan Garam Sukar Larut • 195

Rangkuman • 200

Peta Konsep • 201

Refleksi • 201

Evaluasi Kompetensi Bab 8 • 202

## **Bab 9**

### **Sistem Koloid • 205**

- A. Penggolongan dan Sifat-Sifat Koloid • 206

- B. Kestabilan Koloid • 212

- C. Pembuatan Koloid • 215

Rangkuman • 218

Peta Konsep • 219

Refleksi • 219

Evaluasi Kompetensi Bab 9 • 220

Proyek Semester 2 • 223

Evaluasi Kompetensi Kimia

Semester 2 • 224

Evaluasi Kompetensi Kimia

Akhir Tahun • 227

Apendiks 1 • 231

Apendiks 2 • 240

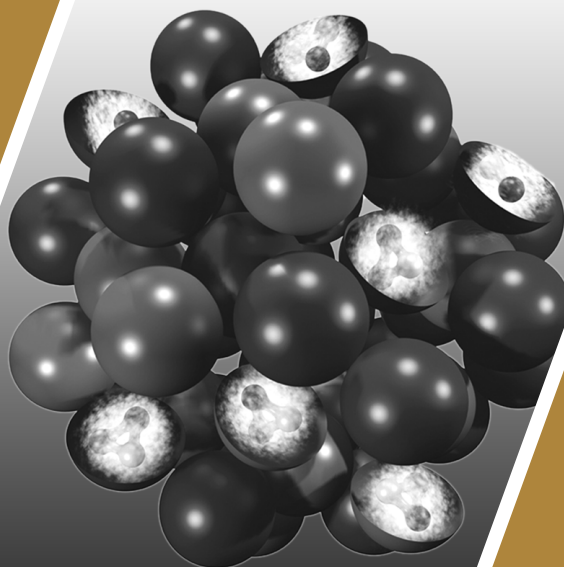
Senarai • 245

Indeks • 248

Daftar Pustaka • 250



# Bab 1



Sumber: [www.bauerundguse.de](http://www.bauerundguse.de)

Atom tidak dapat diidentifikasi melalui pengamatan secara langsung karena struktur atom sangat kecil.

## Struktur Atom

### Hasil yang harus Anda capai:

memahami struktur atom untuk meramalkan sifat-sifat periodik unsur, struktur molekul, dan sifat-sifat senyawa.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

menjelaskan teori atom Bohr dan mekanika kuantum untuk menuliskan konfigurasi elektron dan diagram orbital serta menentukan letak unsur dalam tabel periodik.

Hukum-hukum mekanika klasik seperti Hukum Newton dapat menjelaskan materi berukuran makro dengan akurat. Akan tetapi, hukum tersebut tidak mampu menjelaskan gejala yang ditimbulkan oleh materi berukuran mikro, seperti elektron, atom, atau molekul. Materi berukuran mikro hanya dapat dijelaskan dengan teori mekanika kuantum.

Teori atom berdasarkan mekanika kuantum dirumuskan oleh **Werner Heisenberg** dan **Erwin Schrodinger**. Selain itu, sumbangan pemikiran terhadap teori ini diberikan juga oleh **Paul Dirac**, **Max Born**, dan **Pauli**. Keunggulan teori atom mekanika kuantum dapat menjelaskan materi berskala mikro seperti elektron dalam atom sehingga penyusunan (keberadaan) elektron dalam atom dapat digambarkan melalui penulisan konfigurasi elektron dan diagram orbital.

Bagaimanakah menuliskan konfigurasi elektron dan diagram orbital? Bagaimanakah menentukan letak unsur dalam sistem periodik? Anda akan mengetahui jawabannya setelah menyimak bab ini.

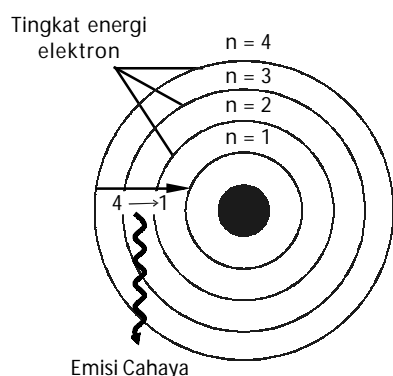
- A. Teori Atom Modern
- B. Bentuk Orbital
- C. Konfigurasi Elektron Atom Polielektron
- D. Sistem Periodik Unsur-Unsur

## Tes Kompetensi Awal

1. Apakah yang Anda ketahui tentang teori atom Bohr?
2. Apakah yang Anda ketahui tentang teori mekanika kuantum?
3. Berdasarkan apakah penyusunan unsur-unsur dalam tabel periodik?

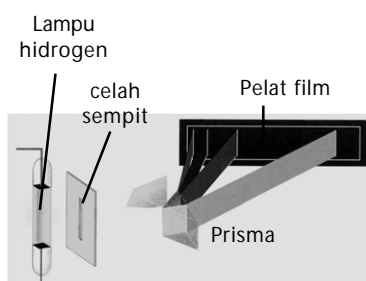
## A. Teori Atom Modern

Teori atom Bohr cukup berhasil dalam menjelaskan gejala spektrum atom hidrogen, bahkan dapat menentukan jari-jari atom hidrogen dan tingkat energi atom hidrogen pada keadaan dasar berdasarkan postulat momentum sudut elektron. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, ditemukan fakta-fakta baru yang menunjukkan adanya kelemahan pada teori atom Bohr. Oleh karena itu, dikembangkan teori atom mekanika kuantum.



**Gambar 1.1**

Menurut Bohr, elektron berada pada tingkat energi tertentu. Jika elektron turun ke tingkat energi yang lebih rendah, akan disertai emisi cahaya dengan spektrum yang khas.



Sumber: Chemistry The Central Science, 2000

**Gambar 1.2**

Lampu hidrogen dialiri listrik hingga menyala. Cahaya dari nyala lampu dilewatkan kepada prisma melalui celah menghasilkan spektrum garis yang dapat dideteksi dengan pelat film.

### 1. Teori Atom Bohr

Sebagaimana telah Anda ketahui, teori atom Bohr didasarkan pada empat postulat sebagai berikut.

- a. Elektron-elektron dalam mengelilingi inti atom berada pada tingkat-tingkat energi atau orbit tertentu. Tingkat-tingkat energi ini dilambangkan dengan  $n=1$ ,  $n=2$ ,  $n=3$ , dan seterusnya. Bilangan bulat ini dinamakan bilangan kuantum (perhatikan **Gambar 1.1**).
- b. Selama elektron berada pada tingkat energi tertentu, misalnya  $n=1$ , energi elektron tetap. Artinya, tidak ada energi yang diemisikan (dipancarkan) maupun diserap.
- c. Elektron dapat beralih dari satu tingkat energi ke tingkat energi lain disertai perubahan energi. Besarnya perubahan energi sesuai dengan persamaan Planck,  $\Delta E = h\nu$ .
- d. Tingkat energi elektron yang dibolehkan memiliki momentum sudut tertentu. Besar momentum sudut ini merupakan kelipatan dari  $\frac{h}{2\pi}$  atau  $\frac{nh}{2\pi}$ ,  $n$  adalah bilangan kuantum dan  $h$  tetapan Planck.

#### a. Peralihan Antartingkat Energi

Model atom Bohr dapat menerangkan spektrum atom hidrogen secara memuaskan. Menurut Bohr, cahaya akan diserap atau diemisikan dengan frekuensi tertentu (sesuai persamaan Planck) melalui peralihan elektron dari satu tingkat energi ke tingkat energi yang lain. Jika atom hidrogen menyerap energi dalam bentuk cahaya maka elektron akan beralih ke tingkat energi yang lebih tinggi. Sebaliknya, jika atom hidrogen mengemisikan cahaya maka elektron akan beralih ke tingkat energi yang lebih rendah.

Pada keadaan stabil, atom hidrogen memiliki energi terendah, yakni elektron berada pada tingkat energi dasar ( $n=1$ ). Jika elektron menghuni  $n > 1$ , dinamakan keadaan tereksitasi. Keadaan tereksitasi ini tidak stabil dan terjadi jika atom hidrogen menyerap sejumlah energi.

Atom hidrogen pada keadaan tereksitasi tidak stabil sehingga energi yang diserap akan diemisikan kembali menghasilkan garis-garis spektrum (perhatikan **Gambar 1.2**). Kemudian, elektron akan turun ke tingkat



energi yang lebih rendah. Nilai energi yang diserap atau diemisikan dalam transisi elektron bergantung pada transisi antartingkat energi elektron. Persamaannya dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta E = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Keterangan:

$\Delta E$  = Energi yang diemisikan atau diserap

$R$  = Tetapan Rydberg ( $2,178 \times 10^{-18}$  J)

$n$  = Bilangan kuantum

### Contoh 1.1

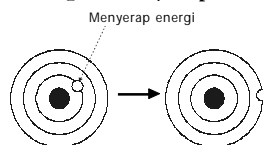
#### Peralihan Tingkat Energi Elektron Menurut Model Atom Bohr

Bagaimanakah peralihan tingkat energi elektron atom hidrogen dan energi yang terlibat pada keadaan dasar ke tingkat energi  $n=3$  dan pada keadaan tereksitasi, dengan  $n=2$  ke keadaan dasar?

Jawab

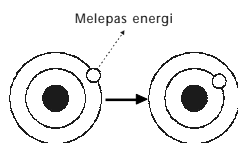
- a. Atom hidrogen pada keadaan dasar memiliki  $n=1$  ( $n_1=1$ ). Jika elektron beralih ke tingkat energi  $n=3$  ( $n_2=3$ ) maka atom hidrogen menyerap energi:

$$\begin{aligned} \Delta E &= 2,178 \times 10^{-18} \text{ J} \left( 1 - \frac{1}{9} \right) \\ &= 1,936 \times 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$



- b. Peralihan tingkat energi dari keadaan tereksitasi ( $n_1=2$ ) ke keadaan dasar ( $n_2=1$ ) akan diemisikan energi (melepas energi):

$$\begin{aligned} \Delta E &= 2,178 \times 10^{-18} \text{ J} \left( \frac{1}{4} - 1 \right) \\ &= -1,633 \times 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$



Tanda negatif menyatakan energi dilepaskan.

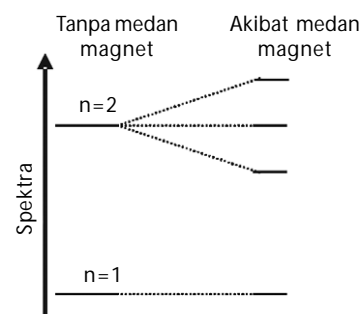
#### b. Kelemahan Model Atom Bohr

Gagasan Bohr tentang pergerakan elektron mengitari inti atom seperti sistem tata surya membuat teori atom Bohr mudah dipahami dan dapat diterima pada waktu itu. Akan tetapi, teori atom Bohr memiliki beberapa kelemahan, di antaranya sebagai berikut.

1. Jika atom ditempatkan dalam medan magnet maka akan terbentuk spektrum emisi yang rumit. Gejala ini disebut *efek Zeeman* (perhatikan **Gambar 1.3**).
2. Jika atom ditempatkan dalam medan listrik maka akan menghasilkan spektrum halus yang rumit. Gejala ini disebut *efek Strack*.

Pakar fisika Jerman, **Sommerfeld** menyarankan, disamping orbit berbentuk lingkaran juga harus mencakup orbit berbentuk elips. Hasilnya, efek Zeeman dapat dijelaskan dengan model tersebut, tetapi model atom Bohr-Sommerfeld tidak mampu menjelaskan spektrum dari atom berelektron banyak.

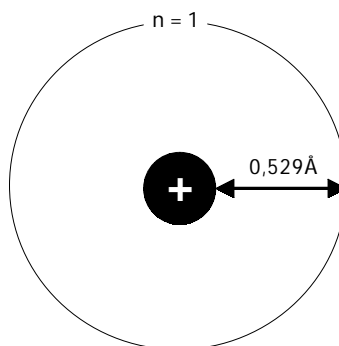
Sepuluh tahun setelah teori Bohr lahir, muncul gagasan de Broglie tentang dualisme materi, disusul Heisenberg tentang ketidakpastian posisi dan momentum partikel. Berdasarkan gagasan tersebut dan teori kuantum dari Planck, Schrodinger berhasil meletakkan dasar-dasar teori atom terkini, dinamakan teori atom *mekanika kuantum*.



**Gambar 1.3**  
Spektrum atom hidrogen terurai dalam medan magnet (efek Zeeman).

## 2. Teori Atom Mekanika Kuantum

Kegagalan teori atom Bohr dalam menerangkan spektra atom hidrogen dalam medan magnet dan medan listrik, mendorong **Erwin Schrodinger** mengembangkan teori atom yang didasarkan pada prinsip-prinsip mekanika kuantum. Teori atom mekanika kuantum mirip dengan yang diajukan oleh model atom Bohr, yaitu atom memiliki inti bermuatan positif dikelilingi oleh elektron-elektron bermuatan negatif. Perbedaannya terletak pada posisi elektron dalam mengelilingi inti atom.



**Gambar 1.4**

Menurut Bohr, jarak elektron dari inti atom hidrogen adalah 0,529Å.



Prinsip ketidakpastian Heisenberg menyatakan bahwa posisi dan momentum suatu partikel tidak dapat diukur secara bersamaan. Ketika posisi diketahui pasti, momentumnya sudah berubah, demikian juga sebaliknya.

*Heisenberg uncertainty principle states that it is impossible to know simultaneously both the momentum and the position of a particle. When its position has been known, the momentum has changed, so it goes vice versa.*

Menurut Bohr, keberadaan elektron-elektron dalam mengelilingi inti atom berada dalam orbit dengan jarak tertentu dari inti atom, yang disebut *jari-jari atom* (perhatikan **Gambar 1.4**). Menurut teori atom mekanika kuantum, posisi elektron dalam mengelilingi inti atom tidak dapat diketahui secara pasti sesuai *prinsip ketidakpastian Heisenberg*. Oleh karena itu, kebolehjadian (peluang) terbesar ditemukannya elektron berada pada orbit atom tersebut. Dengan kata lain, *orbital* adalah daerah kebolehjadian terbesar ditemukannya elektron dalam atom.

Menurut model atom mekanika kuantum, gerakan elektron dalam mengelilingi inti atom memiliki sifat dualisme sebagaimana diajukan oleh de Broglie. Oleh karena gerakan elektron dalam mengelilingi inti memiliki sifat seperti gelombang maka persamaan gerak elektron dalam mengelilingi inti harus terkait dengan fungsi gelombang. Dengan kata lain, energi gerak (kinetik) elektron harus diungkapkan dalam bentuk persamaan fungsi gelombang.

Persamaan yang menyatakan gerakan elektron dalam mengelilingi inti atom dihubungkan dengan sifat dualisme materi yang diungkapkan dalam bentuk koordinat Cartesius. Persamaan ini dikenal sebagai *persamaan Schrodinger*.

Dari persamaan Schrodinger ini dihasilkan tiga bilangan kuantum, yaitu bilangan kuantum utama ( $n$ ), bilangan kuantum azimut ( $\ell$ ), dan bilangan kuantum magnetik ( $m$ ). Ketiga bilangan kuantum ini merupakan bilangan bulat sederhana yang menunjukkan peluang adanya elektron di sekeliling inti atom. Penyelesaian persamaan Schrodinger menghasilkan tiga bilangan kuantum. Orbital diturunkan dari persamaan Schrodinger sehingga terdapat hubungan antara orbital dan ketiga bilangan kuantum tersebut.

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

Bilangan kuantum utama ( $n$ ) memiliki nilai  $n = 1, 2, 3, \dots, n$ . *Bilangan kuantum ini menyatakan tingkat energi utama elektron dan sebagai ukuran*

kebolehjadian ditemukannya elektron dari inti atom. Jadi, bilangan kuantum utama serupa dengan tingkat-tingkat energi elektron atau orbit menurut teori atom Bohr. Bilangan kuantum utama merupakan fungsi jarak yang dihitung dari inti atom (sebagai titik nol). Jadi, semakin besar nilai  $n$ , semakin jauh jaraknya dari inti.

Oleh karena peluang menemukan elektron dinyatakan dengan orbital maka dapat dikatakan bahwa *orbital berada dalam tingkat-tingkat energi sesuai dengan bilangan kuantum utama ( $n$ )*. Pada setiap tingkat energi terdapat satu atau lebih bentuk orbital. Semua bentuk orbital ini membentuk kulit (*shell*). Kulit adalah kumpulan bentuk orbital dalam bilangan kuantum utama yang sama.

Kulit-kulit ini diberi lambang mulai dari K, L, M, N, ..., dan seterusnya. Hubungan bilangan kuantum utama dengan lambang kulit sebagai berikut.

Bilangan kuantum utama ( $n$ )	1	2	3	4	...
Lambang kulit	K	L	M	N	...

Jumlah orbital dalam setiap kulit sama dengan  $n^2$ ,  $n$  adalah bilangan kuantum utama.

Contoh:

Berapa jumlah orbital pada kulit L?

Penyelesaian:

Jumlah orbital dalam kulit L ( $n=2$ ) adalah  $2^2=4$ .

### b. Bilangan Kuantum Azimut ( $\ell$ )

Bilangan kuantum azimut disebut juga bilangan kuantum momentum sudut, dilambangkan dengan  $\ell$ . *Bilangan kuantum azimut menentukan bentuk orbital*. Nilai bilangan kuantum azimut adalah  $\ell = n-1$ . Oleh karena nilai  $n$  merupakan bilangan bulat dan terkecil sama dengan satu maka harga  $\ell$  juga merupakan deret bilangan bulat 0, 1, 2, ..., ( $n-1$ ). Jadi, untuk  $n=1$  hanya ada satu harga bilangan kuantum azimut, yaitu 0. Berarti, pada kulit K ( $n=1$ ) hanya terdapat satu bentuk orbital. Untuk  $n=2$  ada dua harga bilangan kuantum azimut, yaitu 0 dan 1. Artinya, pada kulit L ( $n=2$ ) terdapat dua bentuk orbital, yaitu orbital yang memiliki nilai  $\ell = 0$  dan orbital yang memiliki nilai  $\ell = 1$ .

**Tabel 1.1** Bilangan Kuantum Azimut pada Kulit Atom

$n$	Kulit	$\ell$
1	K	0 (s)
2	L	0 (s), 1 (p)
3	M	0 (s), 1(p), 2(d)

Pada pembahasan sebelumnya, dinyatakan bahwa bentuk-bentuk orbital yang memiliki bilangan kuantum utama sama membentuk kulit. Bentuk orbital dengan bilangan kuantum azimut sama dinamakan subkulit. Jadi, bilangan kuantum azimut dapat juga menunjukkan jumlah subkulit dalam setiap kulit. Masing-masing subkulit diberi lambang dengan s, p, d, f, ..., dan seterusnya. Hubungan subkulit dengan lambangnya adalah sebagai berikut.



- Pada tingkat energi tertentu terdapat daerah dengan peluang terbesar ditemukannya elektron. Daerah ini dinamakan kulit (shell).
- Di dalam kulit terdapat ruang-ruang dengan bentuk tertentu. Bentuk ini dinamakan subkulit.
- Di dalam subkulit terdapat tempat elektron berada. Tempat ini dinamakan orbital.
- On certain energy level, there is area where the probability that the electron can be found. The area is called shell.
- Inside the shell, there are spaces with a particular shape which is named subshell.
- Inside the subshell, there are orbitals where electrons can be found.



### Kata Kunci

- Orbital
- Kulit
- Subkulit

Bilangan kuantum azimut ( $\ell$ )	0	1	2	3	...
Lambang subkulit	s	p	d	f	...

Contoh:

Pada kulit K ( $n=1$ ), nilai  $\ell$  memiliki harga 0 maka pada kulit K hanya ada satu subkulit atau satu bentuk orbital, yaitu orbital s.

Pada kulit L ( $n=2$ ), nilai  $\ell$  memiliki harga 0 dan 1 maka pada kulit L ada dua subkulit, yaitu orbital s dan orbital p (jumlahnya lebih dari satu).

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

Bilangan kuantum magnetik disebut juga bilangan kuantum orientasi sebab bilangan kuantum ini menunjukkan orientasi (arah orbital) dalam ruang atau orientasi subkulit dalam kulit. Nilai bilangan kuantum magnetik berupa deret bilangan bulat dari  $-m$  melalui nol sampai  $+m$ . Untuk  $\ell=1$ , nilai  $m=0, \pm 1$ . Jadi, nilai bilangan kuantum magnetik untuk  $\ell=1$  adalah  $-1$  melalui 0 sampai  $+1$ .

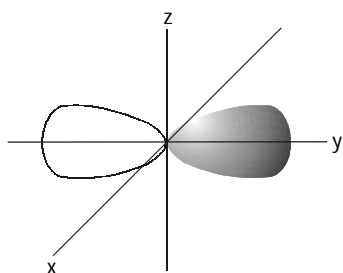
Contoh:

Untuk  $\ell=1$ , nilai bilangan kuantum magnetik,  $m=0, \pm 1$ , atau  $m=-1, 0, +1$ . Untuk  $\ell=2$ , nilai bilangan kuantum magnetik adalah  $m=0, \pm 1, \pm 2$ , atau  $m=-2, -1, 0, +1, +2$ .

Subkulit-s ( $\ell=0$ ) memiliki harga  $m=0$ , artinya subkulit-s hanya memiliki satu buah orbital. Oleh karena  $m=0$ , orbital-s tidak memiliki orientasi dalam ruang sehingga bentuk orbital-s dikukuhkan berupa bola yang simetris.

Subkulit-p ( $\ell=1$ ) memiliki nilai  $m=-1, 0, +1$ . Artinya, subkulit-p memiliki tiga buah orientasi dalam ruang (3 orbital), yaitu orientasi pada sumbu-x dinamakan orbital  $p_x$ , orientasi pada sumbu-y dinamakan orbital  $p_y$ , dan orientasi pada sumbu-z dinamakan orbital  $p_z$ .

Subkulit-d ( $\ell=2$ ) memiliki harga  $m=-2, -1, 0, +1, +2$ . Artinya, subkulit-d memiliki lima buah orientasi dalam ruang (5 orbital), yaitu pada bidang-xy dinamakan orbital  $d_{xy}$ , pada bidang-xz dinamakan orbital  $d_{xz}$ , pada bidang-yz dinamakan orbital  $d_{yz}$ , pada sumbu  $x^2-y^2$  dinamakan orbital  $d_{x^2-y^2}$ , dan orientasi pada sumbu  $z^2$  dinamakan orbital  $d_{z^2}$ . Contoh orientasi orbital dapat dilihat pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5  
Orientasi orbital pada sumbu y koordinat Cartesius

## Contoh 1.2

### Menentukan Jumlah Orbital

Tentukan nilai  $n$ ,  $\ell$ , dan  $m$  dalam kulit M? Berapakah jumlah orbital dalam kulit tersebut?

Jawab:

Kulit M berada pada tingkat energi ke-3 sehingga:

$$n=3,$$

$$\ell=0, 1, 2.$$

Pada  $\ell=0$ , nilai  $m=0$ . Jadi, hanya ada 1 orbital-s

Pada  $\ell=1$ , nilai  $m=-1, 0, +1$ . Jadi, ada 3 orbital -p, yakni  $p_x, p_y, p_z$ .

Pada  $\ell=2$ , nilai  $m=-2, -1, 0, +1, +2$ . Jadi, ada 5 orbital-d, yakni  $d_{xy}, d_{xz}, d_{yz}, d_{x^2-y^2}$ , dan  $d_{z^2}$ .

Jadi, dalam kulit M terdapat 9 orbital. Hal ini sesuai dengan rumus  $n^2$ , yaitu  $3^2=9$ .



d. Bilangan Kuantum Spin (s)

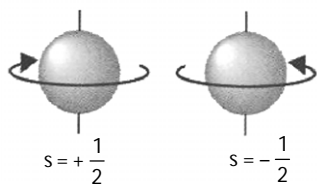
Di samping bilangan kuantum  $n$ ,  $\ell$ , dan  $m$ , masih terdapat satu bilangan kuantum lain. Bilangan kuantum ini dinamakan bilangan kuantum spin, dilambangkan dengan  $s$ . *Bilangan kuantum ini ditemukan dari hasil pengamatan radiasi uap perak yang dilewatkan melalui medan magnet, oleh Otto Stern dan W. Gerlach.*

Pada medan magnet, berkas cahaya dari uap atom perak terurai menjadi dua berkas. Satu berkas membelok ke kutub utara magnet dan satu berkas lagi ke kutub selatan magnet (perhatikan **Gambar 1.6**). Berdasarkan pengamatan tersebut, disimpulkan bahwa atom-atom perak memiliki sifat magnet.

Pengamatan terhadap atom-atom unsur lain, seperti atom Li, Na, Cu, dan Au selalu menghasilkan gejala yang serupa. Atom-atom tersebut memiliki jumlah elektron ganjil. Munculnya sifat magnet dari berkas uap atom disebabkan oleh spin atau putaran elektron pada porosnya.

Berdasarkan percobaan Stern-Gerlach, dapat disimpulkan bahwa ada dua macam spin elektron yang berlawanan arah dan saling meniadakan. Pada atom yang jumlah elektronnya ganjil, terdapat sebuah elektron yang spinnya tidak ada yang meniadakan. Akibatnya, atom tersebut memiliki medan magnet.

Spin elektron dinyatakan dengan bilangan kuantum spin. Bilangan kuantum ini memiliki dua harga yang berlawanan tanda, yaitu  $+\frac{1}{2}$  dan  $-\frac{1}{2}$ . Tanda (+) menunjukkan putaran searah jarum jam dan tanda (-) arah sebaliknya (perhatikan **Gambar 1.7**). Adapun harga  $\frac{1}{2}$ , menyatakan fraksi elektron.



**Kegiatan Inkuiri**

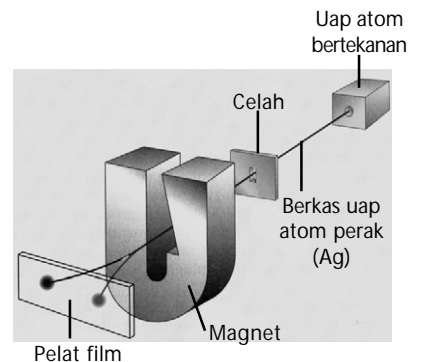


Diskusikanlah dengan teman Anda, apakah yang dimaksud dengan kulit, subkulit, dan orbital?

**Tes Kompetensi Subbab A**

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

- Berapakah energi (joule) yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari tingkat energi ke-1 ke tingkat energi ke-4?
- Tuliskan kelemahan teori atom Bohr.
- Apakah yang dimaksud dengan spektrum yang lebih halus?
- Apakah yang disarankan oleh Sommerfeld? Bagaimana saran Sommerfeld dapat menjelaskan spektrum halus?
- Apakah yang dimaksud dengan atom berelektron banyak? Apakah atom hidrogen tergolong atom berelektron banyak?
- Jelaskan kembali apa yang dimaksud dengan bilangan kuantum utama, bilangan kuantum azimut, dan bilangan kuantum magnetik.
- Berapakah jumlah orbital yang terdapat dalam subkulit s, p, d, dan f?
- Berapakah jumlah orbital yang terdapat dalam kulit K, L, M, dan N?
- Apakah yang dimaksud dengan bilangan kuantum spin? Apakah bilangan kuantum ini dihasilkan dari penyelesaian persamaan Schrodinger?



Sumber: Chemistry The Central Science, 2000

**Gambar 1.6**

Penguraian berkas uap atom perak (percobaan Stern-Gerlach)

**Gambar 1.7**

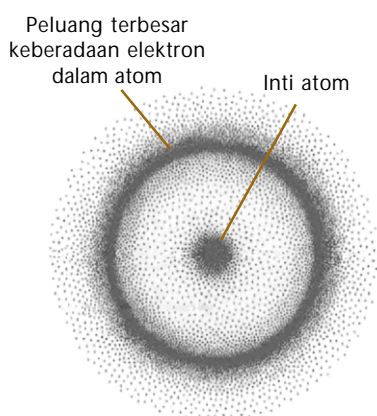
Spin elektron dengan arah berlawanan

## B. Bentuk Orbital

Bentuk orbital ditentukan oleh bilangan kuantum azimut. Bilangan kuantum ini diperoleh dari suatu persamaan matematika yang mengandung trigonometri (sinus dan cosinus). Akibatnya, bentuk orbital ditentukan oleh bentuk trigonometri dalam ruang.

### 1. Orbital-s

Orbital-s memiliki bilangan kuantum azimut,  $\ell = 0$  dan  $m = 0$ . Oleh karena nilai  $m$  sesungguhnya suatu tetapan (tidak mengandung trigonometri) maka orbital-s tidak memiliki orientasi dalam ruang sehingga orbital-s ditetapkan berupa bola simetris di sekeliling inti. Permukaan bola menyatakan peluang terbesar ditemukannya elektron dalam orbital-s. Hal ini bukan berarti semua elektron dalam orbital-s berada di permukaan bola, tetapi pada permukaan bola itu peluangnya tertinggi ( $\approx 99,99\%$ ), sisanya bolehjadi tersebar di dalam bola, lihat **Gambar 1.8**.



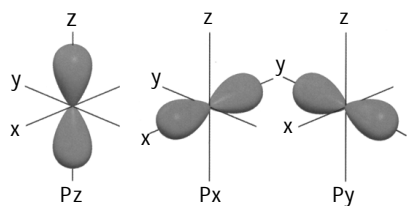
**Gambar 1.8**

Peluang keberadaan elektron dalam atom. Peluang terbesar ( $\approx 99,99\%$ ) berada pada permukaan bola.

### 2. Orbital-p

Orbital-p memiliki bilangan kuantum azimut,  $\ell = 1$  dan  $m = 0, \pm 1$ . Oleh karena itu, orbital-p memiliki tiga orientasi dalam ruang sesuai dengan bilangan kuantum magnetiknya. Oleh karena nilai  $m$  sesungguhnya mengandung sinus maka bentuk orbital-p menyerupai bentuk sinus dalam ruang, seperti ditunjukkan pada **Gambar 1.9**.

Ketiga orbital-p memiliki bentuk yang sama, tetapi berbeda dalam orientasinya. Orbital- $p_x$  memiliki orientasi ruang pada sumbu-x, orbital- $p_y$  memiliki orientasi pada sumbu-y, dan orbital- $p_z$  memiliki orientasi pada sumbu-z. Makna dari bentuk orbital-p adalah peluang terbesar ditemukannya elektron dalam ruang berada di sekitar sumbu x, y, dan z. Adapun pada bidang xy, xz, dan yz, peluangnya terkecil.



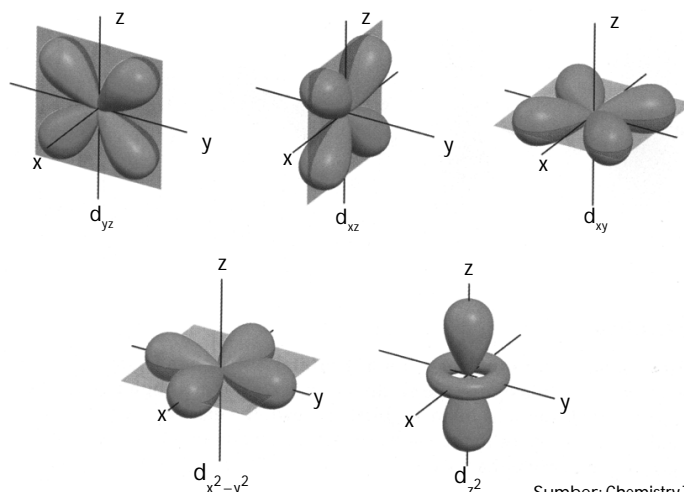
Sumber: Chemistry The Central Science, 2000

**Gambar 1.9**

Kumpulan orbital p dengan berbagai orientasi

### 3. Orbital-d

Orbital-d memiliki bilangan kuantum azimut  $\ell = 2$  dan  $m = 0, \pm 1, \pm 2$ . Akibatnya, terdapat lima orbital-d yang melibatkan sumbu dan bidang, sesuai dengan jumlah bilangan kuantum magnetiknya. Orbital-d terdiri atas orbital- $d_{z^2}$ , orbital- $d_{xz}$ , orbital- $d_{xy}$ , orbital- $d_{yz}$ , dan orbital- $d_{x^2-y^2}$  (perhatikan **Gambar 1.10**).



**Gambar 1.10**

Kumpulan orbital d dengan berbagai orientasi

Sumber: Chemistry The Central Science, 2000

Orbital  $d_{xy}$ ,  $d_{xz}$ ,  $d_{yz}$ , dan  $d_{x^2-y^2}$  memiliki bentuk yang sama, tetapi orientasi dalam ruang berbeda. Orientasi orbital- $d_{xy}$  berada dalam bidang  $xy$ , demikian juga orientasi orbital-orbital lainnya sesuai dengan tandanya. Orbital  $d_{x^2-y^2}$  memiliki orientasi pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ . Adapun orbital  $d_{z^2}$  memiliki bentuk berbeda dari keempat orbital yang lain. Orientasi orbital ini berada pada sumbu  $z$  dan terdapat “donat” kecil pada bidang- $xy$ . Makna dari orbital- $d$  adalah, pada daerah-daerah sesuai tanda dalam orbital ( $xy$ ,  $xz$ ,  $yz$ ,  $x^2-y^2$ ,  $z^2$ ) menunjukkan peluang terbesar ditemukannya elektron, sedangkan pada simpul-simpul di luar bidang memiliki peluang paling kecil.

Bentuk orbital- $f$  dan yang lebih tinggi dapat dihitung secara matematika, tetapi sukar untuk digambarkan atau diungkapkan kebolehjadiannya sebagaimana orbital- $s$ ,  $p$ , dan  $d$ .

Kesimpulan umum dari hasil penyelesaian persamaan Schrodinger dapat dirangkum sebagai berikut.

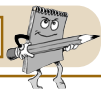
Setiap orbital dicirikan oleh tiga bilangan kuantum  $n$ ,  $\ell$ , dan  $m$  yang memiliki ukuran, bentuk, dan orientasi tertentu dalam ruang kebolehjadian. Elektron-elektron yang menghuni orbital memiliki spin berlawanan sesuai temuan Stern-Gerlach.

Secara lengkap, peluang keberadaan elektron dalam atom dapat Anda lihat pada **Tabel 1.2**.

**Tabel 1.2** Bilangan Kuantum dan Orbital Atom

n	$\ell$	m	Orbital	s	Jumlah Maksimum Elektron	
1	0	0	1s	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	2
2	0	0	2s	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	8
	1	-1, 0, +1	2p	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	6	
3	0	0	3s	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	18
	1	-1, 0, +1	3p	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	6	
	2	-2, -1, 0, +1, +2	3d	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	10	
4	0	0	4s	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	32
	1	-1, 0, +1	4p	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	6	
	2	-2, -1, 0, +1, +2	4d	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	10	
	3	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	4f	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	14	

### Kegiatan Inkuiri



Di Kelas X, Anda telah belajar menuliskan konfigurasi elektron seperti: 2 8 18 32. Jika pada atom Cl elektron tidak maksimum, Anda tuliskan konfigurasi elektronnya Cl: 2 8 8 7, tidak Cl: 2 8 15. Bagaimanakah hal ini dapat dijelaskan dengan teori mekanika kuantum?



### Mahir Menjawab

Nomor atom S=16. Jadi, konfigurasi ion sulfida,  $S^{2-}$  adalah ....

- A.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
- B.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
- C.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
- D.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 3d^2$
- E.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 4s^2$

Pembahasan

Konfigurasi elektron

${}_{16}S = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ , ion  $S^{2-}$  adalah atom S yang telah memperoleh 2 elektron. Elektron tambahan ini akan mengisi orbital dengan tingkat energi terendah yaitu 3p.

Jadi, konfigurasi elektron  ${}_{16}S^{2-} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$  (C)

SPMB 2002



### Contoh 1.3

#### Menentukan Bilangan Kuantum

Di antara set bilangan kuantum berikut, manakah set bilangan kuantum yang diizinkan?

- a.  $n=4, \ell=4, m=+3, s=+\frac{1}{2}$   
b.  $n=3, \ell=2, m=-3, s=-\frac{1}{2}$   
c.  $n=1, \ell=0, m=0, s=+\frac{1}{2}$

#### Jawab

- a. Terlarang sebab untuk  $n=4$  maka nilai  $\ell$  yang dibolehkan adalah  $n-1$  atau  $\ell=3$ .  
b. Terlarang sebab untuk  $\ell=2$  maka nilai  $m$  yang mungkin adalah  $-2, -1, 0, +1, +2$ .  
c. Diizinkan sebab untuk  $n=1$  maka nilai  $\ell=0$ .

## Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

- Mengapa orbital-s berbentuk seperti bola? Pada daerah mana peluang terbesar ditemukannya elektron dalam orbital-s?
- Orbital-p memiliki bentuk bola terpilin. Berapakah peluang menemukan elektron di titik pusat sumbu?
- Pada orbital- $d_{xz}$ , bagaimana peluang ditemukannya elektron dalam bidang  $xz$ , dan bagaimana peluang di luar bidang itu?
- Pilih set bilangan kuantum yang diizinkan untuk elektron dalam atom:
  - $n=3, \ell=3, m=+3, s=+\frac{1}{2}$
  - $n=4, \ell=3, m=-3, s=-\frac{1}{2}$
  - $n=5, \ell=4, m=0, s=+\frac{1}{2}$
- Suatu atom memiliki elektron terluar dalam orbital  $3p$ . Bagaimanakah bilangan kuantumnya ( $n, \ell, m$ )?
- Dapatkah Anda mengetahui posisi atau orientasi elektron dalam orbital  $3p$  pada soal nomor 5? Pada orbital manakah atau pada nilai  $m$  berapa? Jelaskan.

## C. Konfigurasi Elektron Atom Polielektron

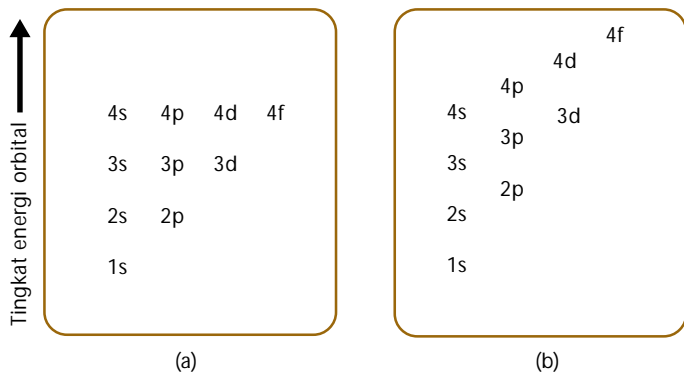
Persamaan Schrodinger hanya dapat diterapkan secara eksak untuk atom berelektron tunggal seperti hidrogen, sedangkan pada atom berelektron banyak tidak dapat diselesaikan. Kesulitan utama pada atom berelektron banyak adalah bertambahnya jumlah elektron sehingga menimbulkan tarik-menarik antara elektron-inti dan tolak-menolak antara elektron-elektron semakin rumit. Oleh karena itu, untuk atom berelektron banyak digunakan metode pendekatan berdasarkan hasil penelitian dan teori para ahli.

### 1. Tingkat Energi Orbital

Pada atom berelektron banyak, setiap orbital ditandai oleh bilangan kuantum  $n, \ell, m$ , dan  $s$ . Bilangan kuantum ini memiliki arti sama dengan yang dibahas sebelumnya. Perbedaannya terletak pada jarak orbital dari inti. Pada atom hidrogen, setiap orbital dengan nilai bilangan kuantum utama sama memiliki tingkat-tingkat energi sama atau terdegenerasi. Misalnya, orbital  $2s$  dan  $2p$  memiliki tingkat energi yang sama. Demikian pula untuk orbital  $3s, 3p$ , dan  $3d$ .



Pada atom berelektron banyak, orbital-orbital dengan nilai bilangan kuantum utama sama memiliki tingkat energi yang sedikit berbeda. Misalnya, orbital 2s dan 2p memiliki tingkat energi berbeda, yaitu energi orbital 2p lebih tinggi. Perbedaan tingkat energi elektron pada atom hidrogen dan atom berelektron banyak ditunjukkan pada **Gambar 1.11**.



**Gambar 1.11**  
 Diagram tingkat energi orbital  
 (a) Atom hidrogen. Tingkat energi orbital atom mengalami degenerasi.  
 (b) Atom berelektron banyak

Perbedaan tingkat energi ini disebabkan oleh elektron yang berada pada kulit dalam menghalangi elektron-elektron pada kulit bagian luar. Sebagai contoh, elektron pada orbital 1s akan tolak-menolak dengan elektron pada orbital-2s dan 2p sehingga orbital-2s dan 2p tidak lagi sejajar (terdegenerasi) seperti pada atom hidrogen. Hal ini menyebabkan elektron-elektron dalam orbital-2s memiliki peluang lebih besar ditemukan di dekat inti daripada orbital-2p (orbital-2s lebih dekat dengan inti).

**Kata Kunci**

- Distribusi elektron
- Menulis konfigurasi elektron

## 2. Distribusi Elektron dalam Atom

Kulit terdiri atas subkulit yang berisi orbital-orbital dengan bilangan kuantum utama yang sama. Jumlah orbital dalam setiap kulit dinyatakan dengan rumus  $n^2$  dan jumlah maksimum elektron yang dapat menempati setiap kulit dinyatakan dengan rumus  $2n^2$ .

Contoh:

Berapa jumlah orbital dan jumlah maksimum elektron dalam kulit M?

Penyelesaian:

Kulit M memiliki bilangan kuantum,  $n = 3$  maka jumlah orbital dalam kulit M adalah  $3^2 = 9$  orbital dan jumlah maksimum elektronnya sebanyak  $2(3)^2 = 18$  elektron

Subkulit terdiri atas orbital-orbital yang memiliki bilangan kuantum azimut yang sama. Jumlah orbital, dalam setiap subkulit dinyatakan dengan rumus  $(2\ell + 1)$ . Oleh karena setiap orbital maksimum dihuni oleh dua elektron maka jumlah elektron dalam setiap subkulit dinyatakan dengan rumus  $2(2\ell + 1)$ .

Contoh:

Berapa jumlah orbital dalam subkulit-p dan berapa jumlah elektron dalam subkulit itu?

Penyelesaian:

Subkulit p memiliki harga  $\ell = 1$  maka jumlah orbitalnya sama dengan  $\{2(1) + 1\} = 3$  orbital.

Sebaran elektron dalam subkulit-p adalah  $2\{2(1) + 1\} = 6$  elektron.

**Catatan Note**

Hasil penyelesaian persamaan Schrodinger pada atom hidrogen menunjukkan orbital-orbital yang terdegenerasi (orbital dalam kulit yang sama memiliki energi yang sama).

The conclusion of Schrodinger equation in atom hydrogen shows degenerated orbitals (orbitals in the same shell have the same energy).

## Catatan Note



Pada atom-atom berelektron banyak, orbital dalam kulit yang sama tidak mengalami degenerasi.

In atoms with many electrons, orbitals on the same subshell are not degenerated.

## Kegiatan Inkuiri



Temukan hubungan antara rumus  $(2\ell + 1)$  dan bilangan kuantum magnetik  $m = 0, \pm\ell$ . Diskusikan dengan teman Anda.

Bagaimana sebaran orbital dan sebaran elektron dalam setiap tingkat energi? Untuk mengetahui masalah ini, simak contoh soal berikut.

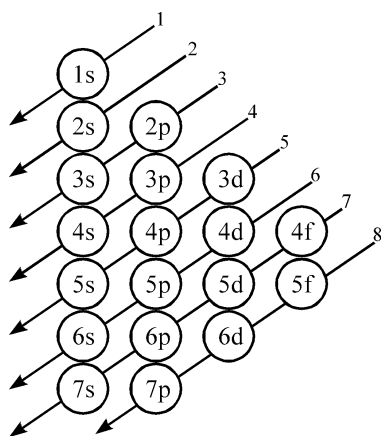
### Contoh 1.4

#### Menentukan Sebaran Elektron dalam Kulit

Berapa jumlah orbital dan jumlah maksimum elektron yang menghuni tingkat energi ke-3 (kulit M)? Bagaimana sebaran orbital dalam setiap subkulit dan sebaran elektronnya pada tingkat energi itu?

**Jawab**

- Jumlah orbital pada kulit M ( $n = 3$ ) dihitung dengan rumus  $n^2$ . Jadi, pada kulit M ada 9 orbital.
- Jumlah maksimum elektron yang dapat menghuni kulit M sebanyak  $2n^2 = 18$  elektron.
- Sebaran orbital dalam setiap subkulit pada  $n = 3$  dihitung dari rumus  $(2\ell + 1)$ . Untuk  $n = 3$ , nilai  $\ell = n - 1 = 0, 1, 2$ . Oleh karena ada 3 subkulit, sebaran orbital dalam tiap subkulit adalah sebagai berikut.  
 $[2(0) + 1] = 1$   
 $[2(1) + 1] = 3$   
 $[2(2) + 1] = 5$   
Pada subkulit s ( $\ell = 0$ ) terdapat 1 orbital-s  
Pada subkulit p ( $\ell = 1$ ) terdapat 3 orbital-p  
Pada subkulit d ( $\ell = 2$ ) terdapat 5 orbital-d
- Sebaran elektron yang menghuni tiap-tiap subkulit ditentukan dari rumus  $2(2\ell + 1)$ , yaitu:  
 $2(2(0) + 1) = 2$  elektron  
 $2(2(1) + 1) = 6$  elektron  
 $2(2(2) + 1) = 10$  elektron  
Jadi, orbital-s ( $\ell = 0$ ) maksimum ditempati oleh 2 elektron, orbital-p ( $\ell = 1$ ) maksimum ditempati oleh 6 elektron, dan orbital-d ( $\ell = 2$ ) maksimum ditempati oleh 10 elektron.



Gambar 1.12  
Diagram tingkat energi orbital

### 3. Aturan dalam Konfigurasi Elektron

Penulisan konfigurasi elektron untuk atom berelektron banyak didasarkan pada aturan aufbau, aturan Hund, dan prinsip larangan Pauli. Untuk menentukan jumlah elektron dalam atom, perlu diketahui nomor atom unsur bersangkutan.

#### a. Aturan Membangun (Aufbau)

Aturan pengisian elektron ke dalam orbital-orbital dikenal dengan prinsip Aufbau (bahasa Jerman, artinya membangun). Menurut aturan ini, elektron dalam atom harus memiliki energi terendah, artinya elektron harus terlebih dahulu menghuni orbital dengan energi terendah (lihat diagram tingkat energi orbital pada Gambar 1.12).



Wolfgang Pauli  
(1900–1958)



Sumber: www.th.physik.uni-frankfurt.

Pauli adalah seorang ahli teori. Menggunakan hasil observasi ilmuwan lain, dia menemukan spin elektron dan mengemukakan asas larangan Pauli. Hal ini membawanya memenangkan hadiah Nobel di bidang Fisika pada 1945.

Lahir pada 1900, Pauli hidup sampai pada 1958 dan membuat penemuan terkenal pada usia 25 tahun.

Sumber: Chemistry The Molecular Science, 1997.

Tingkat energi elektron ditentukan oleh bilangan kuantum utama. Bilangan kuantum utama dengan  $n = 1$  merupakan tingkat energi paling rendah, kemudian meningkat ke tingkat energi yang lebih tinggi, yaitu  $n = 2$ ,  $n = 3$ , dan seterusnya. Jadi, urutan kenaikan tingkat energi elektron adalah  $(n = 1) < (n = 2) < (n = 3) < \dots < (n = n)$ .

Setelah tingkat energi elektron diurutkan berdasarkan bilangan kuantum utama, kemudian diurutkan lagi berdasarkan bilangan kuantum azimut sebab orbital-orbital dalam atom berelektron banyak tidak terdegenerasi. Berdasarkan bilangan kuantum azimut, tingkat energi terendah adalah orbital dengan bilangan kuantum azimut terkecil atau  $\ell = 0$ . Jadi, urutan tingkat energinya adalah  $s < p < d < f < [\ell = (n-1)]$ .

Terdapat aturan tambahan, yaitu aturan  $(n + \ell)$ . Menurut aturan ini, untuk nilai  $(n + \ell)$  sama, orbital yang memiliki energi lebih rendah adalah orbital dengan bilangan kuantum utama lebih kecil, contoh:  $2p (2+1 = 3) < 3s (3+0 = 3)$ ,  $3p (3+1 = 4) < 4s (4+0 = 4)$ , dan seterusnya. Jika nilai  $(n + \ell)$  berbeda maka orbital yang memiliki energi lebih rendah adalah orbital dengan jumlah  $(n + \ell)$  lebih kecil, contoh:  $4s (4+0 = 4) < 3d (3+2 = 5)$ .

Dengan mengacu pada aturan aufbau maka urutan kenaikan tingkat energi elektron-elektron dalam orbital adalah sebagai berikut.

$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < \dots$

#### b. Aturan Hund

Aturan Hund disusun berdasarkan data spektroskopi atom. Aturan ini menyatakan sebagai berikut.

1. Pengisian elektron ke dalam orbital-orbital yang tingkat energinya sama, misalnya ketiga orbital-p atau kelima orbital-d. Oleh karena itu, elektron-elektron tidak berpasangan sebelum semua orbital dihuni.
2. Elektron-elektron yang menghuni orbital-orbital dengan tingkat energi sama, misalnya orbital  $p_x$ ,  $p_y$ . Oleh karena itu, energi paling rendah dicapai jika spin elektron searah.

#### c. Prinsip Larangan Pauli

Menurut Wolfgang Pauli, elektron-elektron tidak boleh memiliki empat bilangan kuantum yang sama. Aturan ini disebut Prinsip larangan Pauli. Makna dari larangan Pauli adalah jika elektron-elektron memiliki ketiga bilangan kuantum  $(n, \ell, m)$  sama maka elektron-elektron tersebut tidak boleh berada dalam orbital yang sama pada waktu bersamaan. Akibatnya, setiap orbital hanya dapat dihuni maksimum dua elektron dan arah spinnya harus berlawanan.

Sebagai konsekuensi dari larangan Pauli maka jumlah elektron yang dapat menghuni subkulit  $s, p, d, f, \dots$ , dan seterusnya berturut-turut adalah  $2, 6, 10, 14, \dots$ , dan seterusnya. Hal ini sesuai dengan rumus:  $2(2\ell + 1)$ .

#### 4. Penulisan Konfigurasi Elektron

Untuk menuliskan konfigurasi elektron, bayangkan bahwa inti atom memiliki tingkat-tingkat energi, dan setiap tingkat energi memiliki orbital-orbital yang masih kosong. Kemudian, elektron-elektron ditempatkan pada orbital-orbital sesuai dengan urutan tingkat energinya (aturan Aufbau), dan tingkat energi paling rendah diisi terlebih dahulu.

$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$		Salah
$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	Benar
$\uparrow$	$\uparrow\downarrow$		Salah

Gambar 1.13

Penulisan konfigurasi elektron menurut aturan Hund

Pengisian orbital dengan tingkat energi sama, seperti  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$ , diusahakan tidak berpasangan sesuai aturan Hund, tempatnya boleh di mana saja,  $p_x$ ,  $p_y$ , atau  $p_z$ . Jika setelah masing-masing orbital dihuni oleh satu elektron masih ada elektron lain maka elektron ditambahkan untuk membentuk pasangan dengan spin berlawanan. Dalam setiap orbital maksimum dihuni oleh dua elektron, sesuai aturan Pauli (perhatikan **Gambar 1.13**).

Penulisan konfigurasi elektron dapat diringkas sebab dalam kimia yang penting adalah konfigurasi elektron pada kulit terluar atau elektron valensi. Contoh konfigurasi elektron atom natrium dapat ditulis sebagai:  ${}_{11}\text{Na}$ :  $[\text{Ne}] 3s^1$ . Lambang  $[\text{Ne}]$  menggantikan penulisan konfigurasi elektron bagian dalam ( ${}_{10}\text{Ne}$ :  $1s^2 2s^2 2p^6$ ).



n	ℓ	m	s
2	1	-1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
		0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
		+1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$

Jika dua elektron menghuni orbital, misalnya  $2p_x^2$  ( $n, \ell, m$  sama), bilangan kuantum spinnya harus berbeda, yakni  $+\frac{1}{2}$  atau  $-\frac{1}{2}$ . Secara visual dapat digambarkan sebagai anak panah yang berlawanan.



If two electrons are settled on certain orbitals, for example  $2p_x^2$  (with the same  $n, \ell, m$ ), the spin quantum number has to be different, which is  $+\frac{1}{2}$  or  $-\frac{1}{2}$ . It can be visualized as different direction arrow.

### Contoh 1.5

#### Penulisan Konfigurasi Elektron Poliatomik

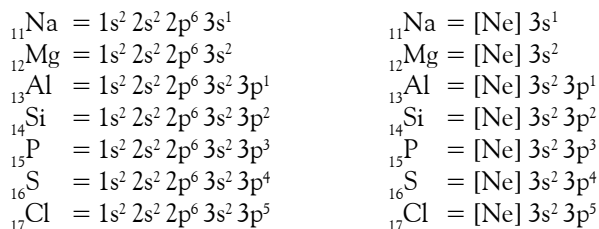
Tuliskan konfigurasi elektron (biasa dan ringkas) atom periode ke-3 ( ${}_{11}\text{Na}$ ,  ${}_{12}\text{Mg}$ ,  ${}_{13}\text{Al}$ ,  ${}_{14}\text{Si}$ ,  ${}_{15}\text{P}$ ,  ${}_{16}\text{S}$ ,  ${}_{17}\text{Cl}$ )?

**Jawab:**

Prinsip aufbau: elektron harus menghuni orbital atom dengan energi terendah dulu, yaitu  $1s 2s 2p 3s 3p 4s \dots$  dan seterusnya.

Prinsip Pauli: setiap orbital maksimum dihuni oleh dua elektron dengan spin berlawanan. Prinsip Hund: pengisian elektron dalam orbital yang tingkat energinya sama, tidak berpasangan dulu sebelum semua orbital dihuni dulu.

Dengan demikian, konfigurasi elektron atom poliatomik dapat dituliskan sebagai berikut.



Beberapa konfigurasi elektron atom dengan nomor atom 1 sampai nomor atom 20 ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 1.3** Beberapa Konfigurasi Elektron ( $Z=1-20$ )

Z	Unsur	Konfigurasi	Z	Unsur	Konfigurasi
1	H	$1s^1$	11	Na	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
2	He	$1s^2$	12	Mg	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
3	Li	$1s^2 2s^1$	13	Al	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$
4	Be	$1s^2 2s^2$	14	Si	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
5	B	$1s^2 2s^2 2p^1$	15	P	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
6	C	$1s^2 2s^2 2p^2$	16	S	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
7	N	$1s^2 2s^2 2p^3$	17	Cl	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
8	O	$1s^2 2s^2 2p^4$	18	Ar	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
9	F	$1s^2 2s^2 2p^5$	19	K	$[\text{Ar}] 4s^1$
10	Ne	$1s^2 2s^2 2p^6$	20	Ca	$[\text{Ar}] 4s^2$

### a. Konfigurasi Elektron dan Bilangan Kuantum

Berdasarkan konfigurasi elektron, Anda dapat menentukan bilangan kuantum suatu elektron. Contoh: atom oksigen memiliki 8 elektron, konfigurasi elektron atom oksigen adalah  ${}_8\text{O}: 1s^2 2s^2 2p^4$  atau diuraikan sebagai berikut.

- 1)  $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$ ;
- 2)  $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^2 2p_z^1$ ;
- 3)  $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^2$ .

Ketiga penulisan konfigurasi tersebut benar sebab atom terakhir dapat berpasangan di mana saja dalam orbital 2p. Mengapa?

Pada subkulit p, terdapat tiga orbital dengan tingkat energi sama ( $p_x = p_y = p_z$ ) sehingga kita tidak dapat menentukan secara pasti pada orbital mana elektron berpasangan. Dengan kata lain, kebolehjadian pasangan elektron dalam ketiga orbital-p adalah sama.

Akibat dari peluang yang sama dalam menemukan elektron pada suatu orbital maka Anda tidak dapat menentukan bilangan kuantum magnetiknya. Pada contoh tersebut, elektron terakhir dari atom oksigen memiliki bilangan kuantum sebagai berikut.

- 1) Bilangan kuantum utama,  $n = 2$
- 2) Bilangan kuantum azimut,  $\ell = 1$
- 3) Bilangan kuantum spin,  $s = -\frac{1}{2}$
- 4) Bilangan kuantum magnetik,  $m = -1, +1, \text{ atau } 0$ ? (**tidak pasti**, semua orbital memiliki peluang yang sama untuk dihuni).

Dengan demikian, pada kasus atom oksigen terdapat ketidakpastian dalam bilangan kuantum magnetik atau momentum sudut.

Kasus tersebut benar-benar membuktikan bahwa keberadaan elektron-elektron di dalam atom tidak dapat diketahui secara pasti, yang paling mungkin hanyalah peluang menemukan elektron pada daerah tertentu di dalam ruang, sedangkan posisi pastinya tidak dapat diketahui.

### Kata Kunci

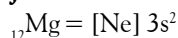
- Keberadaan elektron
- Momentum spin
- Posisi elektron

## Contoh 1.6

### Ketidakpastian Momentum Elektron dalam Atom

Tuliskan konfigurasi elektron dari atom  ${}_{12}\text{Mg}$ . Tentukan bilangan kuantum elektron terakhirnya dan bilangan kuantum manakah yang tidak pasti?

**Jawab:**



Elektron terakhir menghuni orbital 3s. Jadi, bilangan kuantumnya adalah bilangan kuantum utama ( $n = 3$ ), bilangan kuantum azimut ( $\ell = 0$ ), bilangan kuantum magnetik ( $m = 0$ ), dan bilangan kuantum spin ( $s = +\frac{1}{2}$  atau  $-\frac{1}{2}$ )?

Anda tidak akan pernah tahu secara pasti elektron mana yang terakhir, apakah yang memiliki spin ke atas atau ke bawah. Jadi, dalam hal ini ada ketidakpastian dalam momentum spin.

### b. Kestabilan Konfigurasi Elektron

Berdasarkan pengamatan, orbital yang terisi penuh dan terisi setengah penuh menunjukkan kondisi yang relatif stabil, terutama bagi atom unsur-unsur gas mulia dan unsur-unsur transisi.



## Sekilas Kimia

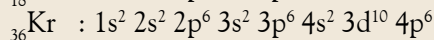
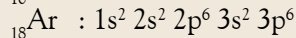
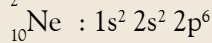
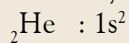
### Nyatakah Orbital Itu?

Orbital adalah fungsi gelombang yang tidak bisa langsung diamati. Jadi, apakah orbital hanya model teori tanpa bentuk fisik yang nyata? Penelitian akan hal ini dilakukan para ilmuwan di Arizona State University (ASU) pada 1999.

Para ilmuwan ini mempelajari ikatan dalam senyawa tembaga(I) oksida  $\text{Cu}_2\text{O}$  pada fasa padat. Konfigurasi elektron ion  $\text{Cu}^+$  adalah  $[\text{Ar}] 3d^{10}$ . Para ilmuwan ASU mengukur kerapatan elektron dari senyawa  $\text{Cu}_2\text{O}$  dengan menggunakan teknik difraksi elektron dan difraksi sinar-X. Hasilnya, mereka memperoleh peta kerapatan elektron yang berbentuk orbital  $3d_z^2$ . Dari penelitian tersebut, terjawablah keberadaan orbital  $3d_z^2$ . Jadi, orbital itu nyata.

### Contoh:

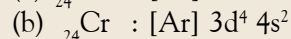
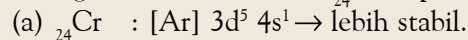
Atom-atom unsur gas mulia relatif stabil disebabkan orbital kulit valensinya terisi penuh oleh elektron.



Hasil pengamatan menunjukkan bahwa unsur-unsur dengan orbital kulit valensi terisi setengah penuh relatif stabil.

### Contoh:

Konfigurasi elektron atom  ${}_{24}\text{Cr}$  dapat ditulis sebagai berikut:



Menurut data empirik, konfigurasi elektron pertama (a) relatif lebih stabil daripada konfigurasi elektron kedua (b), mengapa? Pada konfigurasi elektron (a), orbital 3d terisi lima elektron dan orbital 4s terisi satu elektron, keduanya setengah penuh. Pada konfigurasi elektron (b), walaupun orbital 4s terisi penuh, tetapi orbital 3d tidak terisi setengah penuh sehingga kurang stabil.

### c. Konfigurasi Elektron Unsur-Unsur Transisi

Pada diagram tingkat energi orbital, orbital 4s memiliki energi lebih rendah daripada orbital 3d. Akibatnya, dalam konfigurasi elektron unsur-unsur utama orbital 4s dihuni terlebih dahulu.

Pada unsur-unsur transisi pertama, elektron kulit terluar menghuni orbital-d dan orbital-s, yakni  $ns (n-1)d$ . Jika mengikuti aturan tersebut, orbital ns dihuni terlebih dahulu baru menghuni orbital  $(n-1)d$ . Apakah konfigurasi elektron untuk unsur-unsur transisi seperti itu? Jika demikian, elektron akan mudah lepas ketika unsur transisi membentuk kation (bersenyawa) berasal dari orbital  $(n-1)d$ .

Berdasarkan data empirik, diketahui bahwa semua unsur transisi ketika membentuk kation melepaskan elektron valensi dari orbital ns. Jika muatan kation yang dibentuknya lebih tinggi maka elektron dari orbital  $(n-1)d$  dilepaskan. Data berikut ini artinya, elektron terluar berasal dari orbital ns.

#### Fakta empirik:

1. Mangan dapat membentuk kation  $\text{Mn}^{2+}$  ( $\text{MnCl}_2$ ) dan  $\text{Mn}^{7+}$  ( $\text{KMnO}_4$ )
2. Besi dapat membentuk kation  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\text{FeSO}_4$ ) dan  $\text{Fe}^{3+}$  ( $\text{FeCl}_3$ )
3. Tembaga dapat membentuk kation  $\text{Cu}^+$  ( $\text{CuCl}$ ) dan  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\text{CuSO}_4$ ).

#### Konfigurasi elektronnya:

1.  ${}_{25}\text{Mn} : [\text{Ar}] 3d^5 4s^2$
2.  ${}_{26}\text{Fe} : [\text{Ar}] 3d^6 4s^2$
3.  ${}_{29}\text{Cu} : [\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$

Jika fakta empirik dan konfigurasi elektronnya dihubungkan maka Anda dapat mengatakan  $\text{Mn}^{2+}$  dibentuk melalui pelepasan 2 elektron dari orbital 4s. Ion  $\text{Fe}^{2+}$  dibentuk dengan melepaskan 2 elektron dari orbital 4s, demikian juga ion  $\text{Cu}^+$ . Bagaimana menjelaskan data empirik ini?

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran, energi orbital dapat disimpulkan sebagai berikut.



- 1) Unsur-unsur ringan dengan nomor atom 1 (H) sampai dengan 20 (Ca) memiliki konfigurasi elektron sebagaimana uraian tersebut.
- 2) Untuk unsur-unsur berat dengan nomor atom 21 ke atas, terjadi transisi energi orbital.

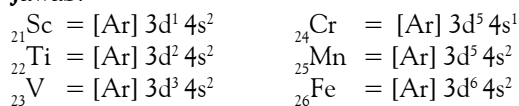
Apa yang dimaksud transisi energi orbital? Setelah orbital 4s terisi penuh (atom  ${}_{20}\text{Ca}$ ) maka elektron mulai mengisi orbital 3d ( ${}_{21}\text{Sc} - {}_{30}\text{Zn}$ ). Dalam keadaan tidak terisi, orbital 3d memiliki energi lebih tinggi dari 4s. Akan tetapi, ketika orbital 3d terisi elektron maka energi orbital 3d turun drastis dan mencapai kestabilan dengan energi yang lebih rendah daripada orbital 4s. Dengan demikian, mudah dipahami bahwa orbital paling luar dari kulit valensi adalah orbital ns, bukan orbital (n-1)d. Gejala ini berlaku untuk semua atom-atom unsur dengan nomor atom di atas 20.

### Contoh 1.7

#### Konfigurasi Elektron Unsur Transisi

Tuliskan konfigurasi elektron enam unsur transisi pertama.

Jawab:



### Contoh 1.8

#### Konfigurasi Elektron Unsur Transisi

Manakah konfigurasi elektron yang benar dari Ag?

- (a)  ${}_{47}\text{Ag} = [\text{Kr}] 4d^{10} 5s^1$
- (b)  ${}_{47}\text{Ag} = [\text{Kr}] 4d^9 5s^2$
- (c)  ${}_{47}\text{Ag} = [\text{Kr}] 5s^1 4d^{10}$

Jawab:

Jawaban yang tepat adalah (a) sebab orbital 4d lebih rendah dari 5s dan orbital setengah penuh lebih stabil.



### Mahir Menjawab

Diketahui nomor atom  $\text{Ca}=20$ ,  $\text{Cu}=29$ ,  $\text{K}=19$ ,  $\text{Ti}=22$ , dan  $\text{Zn}=30$ . Ion-ion di bawah ini memiliki elektron berpasangan, kecuali...  
 A.  $\text{Ca}^{2+}$  D.  $\text{Ti}^{4+}$   
 B.  $\text{Cu}^+$  E.  $\text{Zn}^{2+}$   
 C.  $\text{Cu}^{2+}$

Pembahasan  
 Konfigurasi elektron  
 ${}_{29}\text{Cu} = [\text{Ar}] 4s^1 3d^{10}$   
 Konfigurasi elektron  
 ${}_{29}\text{Cu}^{2+} = [\text{Ar}] 3d^9$   
 Dalam ion  $\text{Cu}^{2+}$  terdapat satu buah elektron yang tidak berpasangan. Jadi, jawabannya (C)

Ebtanas 1992

## Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Berapakah jumlah orbital dan jumlah maksimum elektron yang dapat menghuni kulit dengan bilangan kuantum  $n = 4$  dan  $n = 5$ ?
2. Berapakah jumlah orbital dalam subkulit d dan berapakah jumlah elektron dalam subkulit itu?
3. Berapakah jumlah maksimum elektron dalam kulit K, L, M, N? Apakah penulisan konfigurasi elektron di kelas X menyimpang dari teori atom mekanika kuantum? Jelaskan.
4. Berapakah jumlah orbital dan jumlah maksimum elektron yang dapat menghuni kulit L dan kulit N? Bagaimanakah sebaran orbital dan sebaran elektron dalam setiap subkulit pada kulit-kulit tersebut?
5. Dapatkah Anda menghubungkan antara sebaran elektron dalam setiap orbital dengan diagram tingkat energi elektron? Buatlah susunan orbital-orbital berdasarkan diagram orbital yang menggambarkan sebaran elektron dalam atom.
6. Tuliskan konfigurasi elektron dari atom-atom gas mulia dalam tabel periodik ( ${}_{2}\text{He}$ ,  ${}_{10}\text{Ne}$ ,  ${}_{18}\text{Ar}$ ,  ${}_{36}\text{Kr}$ , dan  ${}_{54}\text{Xe}$ ).
7. Tuliskan konfigurasi elektron dari atom-atom golongan VA dalam tabel periodik ( ${}_{7}\text{N}$ ,  ${}_{15}\text{P}$ ,  ${}_{33}\text{As}$ , dan  ${}_{51}\text{Sb}$ ).
8. Tuliskan konfigurasi elektron dari atom-atom golongan IIA dalam tabel periodik secara ringkas ( ${}_{4}\text{Be}$ ,  ${}_{12}\text{Mg}$ ,  ${}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}_{38}\text{Sr}$ , dan  ${}_{56}\text{Ba}$ ).
9. Tentukan jenis ketidakpastian apa yang terdapat dalam atom-atom pada periode ke-3 sistem periodik.
10. Manakah yang lebih stabil, atom N atau atom O?
11. Mengapa  $\text{Fe}^{2+}$  kurang stabil dibandingkan  $\text{Fe}^{3+}$ ?
12. Tentukan konfigurasi elektron dari kation dalam senyawa berikut.
  - a.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{KCrO}_4$ , dan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
  - b.  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{MnO}_2$ , dan  $\text{KMnO}_4$
  - c.  $\text{VO}_2$  dan  $\text{V}_2\text{O}_5$

## D. Tabel Periodik Unsur-Unsur

Di Kelas X, Anda telah belajar sistem periodik modern. Pada sistem periodik modern, penyusunan unsur-unsur didasarkan pada kenaikan nomor atom. Pada atom netral, nomor atom menyatakan jumlah elektron sehingga ada hubungan antara penyusunan unsur-unsur dan konfigurasi elektron.

### 1. Konfigurasi Elektron dan Sifat Periodik

Anda sudah mengetahui bahwa dalam golongan yang sama, unsur-unsur memiliki sifat yang mirip. Kemiripan sifat ini berhubungan dengan konfigurasi elektronnya. Bagaimana hubungan tersebut ditinjau berdasarkan teori atom mekanika kuantum?

Simak unsur-unsur ringan dengan nomor atom 1 sampai dengan 20 dalam tabel periodik berikut (perhatikan **Gambar 1.14**).

IA												VIII A	
1 H											2 He		
IIA								IIIA		IVA	VA	VIA	VIIA
3 Li	4 Be							5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
III A								IV A		V A		VI A	
11 Na	12 Mg							13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
VIII B								VIII B		VIII B		VIII B	
IX B								IX B		IX B		IX B	
X B								X B		X B		X B	
19 K	20 Ca											VIII B	

**Gambar 1.14**  
Tabel periodik golongan utama ( $z \leq 20$ )

Bagaimanakah Anda menyimpulkan konfigurasi elektron dalam golongan yang sama?

- Golongan IA  $\rightarrow ns^1$
- Golongan IIA  $\rightarrow ns^2$
- Golongan IIIA  $\rightarrow ns^2 np^1$

Jadi, kemiripan sifat-sifat unsur dalam golongan yang sama berhubungan dengan konfigurasi elektron dalam kulit valensi.

Simak kembali tabel periodik tersebut. Dapatkah Anda menemukan sesuatu yang memiliki keteraturan? Jika Anda cerdas, Anda akan menemukan unsur-unsur berada dalam blok-blok tertentu, yaitu unsur-unsur blok s, blok p, blok d, dan blok f (perhatikan **Gambar 1.15**).

Orbital-s maksimum dihuni oleh 2 elektron sehingga hanya ada dua golongan dalam blok s. Orbital-p maksimum 6 elektron sehingga ada enam golongan yang termasuk blok-p. Unsur-unsur transisi pertama mencakup golongan IB – VIII B dan VIII B mencakup tiga golongan. Jadi, semuanya ada 10 golongan. Hal ini sesuai dengan orbital-d yang dapat dihuni maksimum 10 elektron.


**Gambar 1.15**  
Pembagian blok pada tabel periodik

Setelah Anda memahami hubungan golongan dan konfigurasi elektron, sekarang tinjau hubungan periode dan konfigurasi elektron. Perhatikan konfigurasi elektron unsur-unsur periode ke-3 berikut.

- a. Na :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$       c. Al :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$   
 b. Mg :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$       d. Si :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

Apakah yang dapat Anda simpulkan dari konfigurasi elektron untuk unsur-unsur dalam periode ke-3? Jika Anda kritis, Anda akan menemukan hubungan antara nomor periode dan bilangan kuantum utama dari konfigurasi elektron tersebut.

### Kegiatan Inkuiri

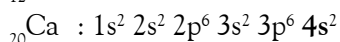
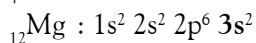
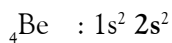


- Kemukakan beberapa sifat kimia yang mirip dari unsur-unsur dalam golongan yang sama.
- Bagaimana unsur-unsur dikelompokkan ke dalam blok-blok? Diskusikan dengan teman Anda.
  - Golongan IA dan IIA ke dalam blok-s.
  - Golongan IIIA–VIIIA ke dalam blok-p.
  - Unsur-unsur transisi pertama ke dalam blok-d.

Sepanjang periode dari kiri ke kanan, jumlah proton dalam inti bertambah (volume inti mengembang), sedangkan kulit terluar tetap. Akibatnya, tarikan inti terhadap elektron valensi semakin kuat yang berdampak pada pengerutan ukuran atom. Pengerutan jari-jari atom menimbulkan kecenderungan perubahan sifat dari kiri ke kanan secara berkala, seperti sifat logam berkurang, keelektronegatifan dan afinitas elektron meningkat.

## 2. Posisi Unsur-Unsur dalam Tabel Periodik

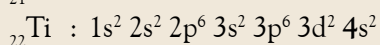
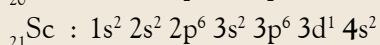
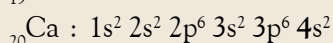
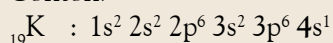
Hubungan konfigurasi elektron dan nomor golongan dalam tabel periodik ditunjukkan oleh jumlah elektron pada kulit valensi. Contohnya, sebagai berikut.



Kulit valensi ditunjukkan oleh bilangan kuantum utama paling besar dalam konfigurasi elektron. Pada unsur-unsur tersebut, bilangan kuantum utama paling besar berturut-turut adalah  $n = 2$ ,  $n = 3$ , dan  $n = 4$  dengan jumlah elektron yang menghuni kulit terluar 2 elektron. Oleh karena itu, unsur-unsur tersebut berada dalam golongan IIA.

Hubungan konfigurasi elektron dengan periode ditunjukkan oleh bilangan kuantum utama paling besar.

Contoh:



### Mahir Menjawab

Konfigurasi elektron unsur X yang dalam sistem periodik terdapat pada golongan VA dan periode ke-3 adalah....

- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3$
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3 3d^2$

Pembahasan

Unsur yang terletak pada golongan A memiliki elektron valensi pada orbital  $ns^x$  atau  $ns^x np^y$ , dengan  $(x+y)$  menunjukkan golongan dan  $n$  menunjukkan periode. Jadi, untuk golongan VA periode ke-3, elektron valensinya adalah  $3s^2 3p^3$ . Jadi, jawabannya (B)

UNAS 2004



### Catatan Note



Unsur-unsur transisi memiliki konfigurasi elektron  $(n-1)d^{1-10}ns^{1-2}$ .

The electron configuration of transition elements can be written as  $(n-1)d^{1-10}ns^{1-2}$ .



Unsur-unsur tersebut memiliki bilangan kuantum utama paling besar 4 ( $n=4$ ) sehingga unsur-unsur tersebut dikelompokkan ke dalam periode ke-4. Jadi, nomor periode berhubungan dengan bilangan kuantum utama paling besar yang dihuni oleh elektron valensi.

### Contoh 1.9

#### Penentuan Letak Unsur dalam Tabel Periodik

Tanpa melihat tabel periodik, tentukan pada golongan dan periode berapa unsur-unsur:  ${}_{17}\text{X}$ ;  ${}_{31}\text{Y}$ ;  ${}_{44}\text{Z}$ ; dan  ${}_{39}\text{A}$ .

**Jawab:**

Dalam konfigurasi elektron, elektron valensi menunjukkan golongan dan bilangan kuantum utama menunjukkan periode.

${}_{17}\text{X}$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ , jumlah elektron valensi 7 dan bilangan kuantum utama paling tinggi 3.

Jadi, posisi unsur  ${}_{17}\text{X}$  dalam sistem periodik terdapat pada golongan VIIA dan periode ke-3.

${}_{31}\text{Y}$ :  $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^1$ , jumlah elektron valensi 3 dan bilangan kuantum utama terbesar paling tinggi 4.

Jadi, unsur Y berada pada golongan IIIA dan periode ke-4.

${}_{44}\text{Z}$ :  $[\text{Kr}] 4d^6 5s^2$

Jadi, unsur Z berada pada golongan VIIB dan periode ke-5.

${}_{39}\text{A}$ :  $[\text{Kr}] 4d^1 5s^2$

Jadi, unsur A berada pada golongan IIIB dan periode ke-5.

## Tes Kompetensi Subbab D

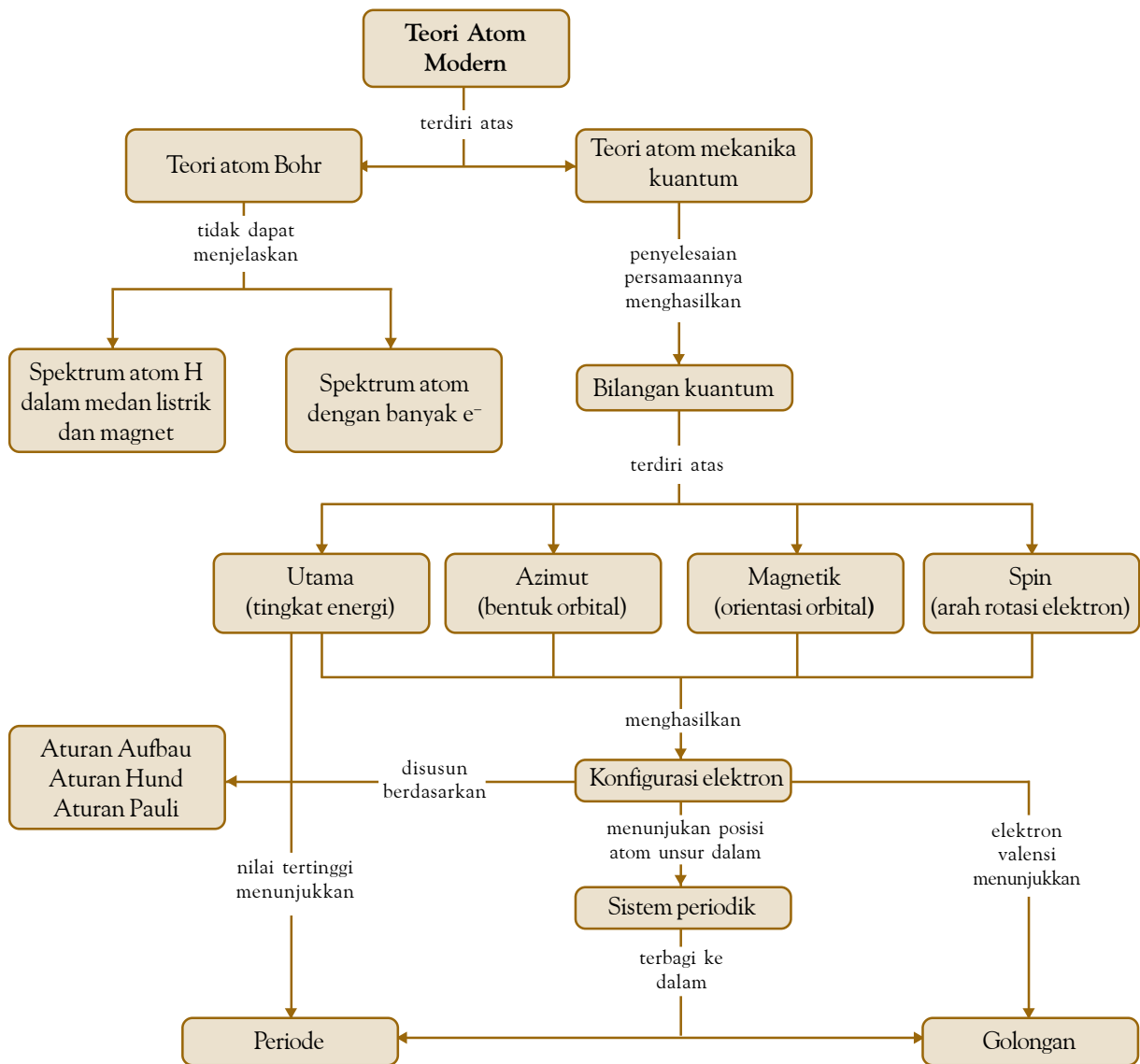
Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Mengapa unsur-unsur golongan IA tidak dapat membentuk kation bermuatan +2, sedangkan unsur-unsur golongan IIA dapat membentuk kation bermuatan +2?
2. Terdapat pada blok apakah unsur  ${}_{14}\text{X}$ ,  ${}_{30}\text{Y}$ , dan  ${}_{39}\text{Z}$ ?
3. Unsur N dan P berada dalam satu golongan VA. Mengapa senyawa nitrogen yang dikenal hanya bervalensi 3 ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NF}_3$ ), sedangkan fosfor selain valensi 3 ( $\text{PCl}_3$ ) juga ada yang bervalensi 5 ( $\text{PCl}_5$ )? Tinjau berdasarkan konfigurasi elektronnya.
4. Tentukan periode dan golongan dalam tabel periodik untuk unsur-unsur dengan nomor atom 16, 26, 36, dan 50.
5. Tentukan periode dan golongan dalam sistem periodik dari unsur-unsur dengan nomor atom 5, 13, 31, 59, dan 81.
6. Tentukan periode dan golongan dalam sistem periodik dari unsur-unsur dengan nomor atom 55, 56, 57, 58, 59, dan 60.

## Rangkuman

1. Teori atom Bohr dikembangkan berdasarkan postulat yang memadukan teori atom Rutherford dan teori gelombang dari Planck.
2. Kelemahan teori atom Bohr, yaitu tidak dapat menerangkan gejala spektrum atom hidrogen dalam medan magnet dan medan listrik.
3. Menurut teori atom mekanika kuantum, elektron dalam mengelilingi inti memiliki sifat seperti gelombang dan berada dalam daerah kebolehjadian yang disebut orbital.
4. Orbital adalah ruang kebolehjadian ditemukannya elektron di sekeliling inti atom.
5. Terdapat empat bilangan kuantum untuk mengkarakterisasi keberadaan elektron di dalam atom, yaitu bilangan kuantum utama, bilangan kuantum azimut, bilangan kuantum magnetik, dan bilangan kuantum spin.
6. Bilangan kuantum utama ( $n$ ) menyatakan tingkat energi utama orbital. Bilangan kuantum azimut ( $\ell$ ) menyatakan bentuk orbital. Bilangan kuantum magnetik ( $m$ ) menyatakan orientasi orbital dalam ruang kebolehjadian. Bilangan kuantum spin ( $s$ ) menyatakan arah putaran elektron pada porosnya.
7. Kulit (*shell*) adalah kumpulan orbital-orbital yang memiliki tingkat energi utama sama. Subkulit adalah kumpulan orbital-orbital yang memiliki bilangan kuantum azimut sama.
8. Orbital-orbital atom berelektron banyak memiliki tingkat energi berbeda, yaitu:  
 $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < \dots < \text{dst.}$
9. Penulisan konfigurasi elektron atom-atom berelektron banyak mengikuti kaidah-kaidah: (1) aufbau; (2) Hund, dan (3) Pauli.
10. Menurut aturan aufbau, pengisian elektron ke dalam orbital-orbital dimulai dengan orbital yang memiliki energi paling rendah sesuai diagram tingkat energi orbital.
11. Menurut Hund, pengisian elektron ke dalam orbital yang memiliki tingkat energi yang sama, memiliki energi paling rendah jika elektron tersebut tidak berpasangan dengan spin searah.
12. Menurut Pauli, tidak ada elektron yang memiliki keempat bilangan kuantum yang sama. Jika  $n$ ,  $\ell$ ,  $m$  sama maka bilangan kuantum spinnya ( $s$ ) harus berbeda.
13. Pada tabel periodik, unsur-unsur dalam satu golongan memiliki sifat yang mirip disebabkan oleh kesamaan konfigurasi elektronnya (elektron valensi).
14. Pada periode yang sama, sifat-sifat unsur berubah secara berkala sejalan dengan perubahan dalam ukuran atom yang disebabkan oleh kulit valensi tetap, sedangkan volume inti mengembang.
15. Unsur-unsur dapat ditentukan letaknya dalam sistem periodik dari konfigurasi elektronnya. Elektron valensi menunjukkan golongan dan nomor kulit valensi menunjukkan nomor periode.

# Peta Konsep



## Refleksi

Apakah Anda merasa kesulitan dalam mempelajari bab ini? Bagian manakah dari materi Struktur Atom yang belum Anda kuasai? Jika Anda mengalami kesulitan, diskusikan dengan teman atau guru Anda.

Dengan memahami struktur atom, Anda akan lebih mengetahui perkembangan teori atom dan susunan elektron dalam atom. Dapatkah Anda tuliskan manfaat apa lagi yang Anda peroleh setelah mempelajari bab struktur atom ini?





**A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.**

1. Perbedaan model atom Bohr dengan model atom Rutherford terletak pada ....
  - A. massa atom yang terpusat pada inti atom
  - B. jumlah proton dengan jumlah elektron
  - C. muatan proton sama dengan muatan elektron
  - D. elektron dalam mengelilingi inti berada pada tingkat-tingkat energi tertentu
  - E. proton dan neutron berada dalam inti, elektron bergerak mengelilingi inti
2. Jika logam tembaga dipanaskan dalam bunsen, nyala biru kehijauan diemisikan akibat ....
  - A. emisi energi oleh elektron dalam atom tembaga yang tereksitasi
  - B. penguapan atom tembaga karena pemanasan
  - C. serapan energi oleh elektron dalam atom tembaga
  - D. ionisasi atom tembaga membentuk ion  $\text{Cu}^+$
  - E. peralihan elektron dari tingkat energi rendah ke tingkat energi lebih tinggi
3. Kelemahan teori atom Bohr adalah ....
  - A. atom bersifat tidak stabil
  - B. tidak dapat menerangkan efek Zeeman dan efek Strack
  - C. spektra atom hidrogen bersifat kontinu
  - D. tidak melibatkan orbit berupa elips
  - E. tidak dapat menjelaskan keadaan tereksitasi dari elektron
4. Efek Zeeman adalah ....
  - A. terurainya atom hidrogen menjadi proton dan elektron.
  - B. pengaruh medan magnet dalam medan listrik.
  - C. terbentuknya beberapa spektrum halus dari atom hidrogen dalam medan magnet.
  - D. terbentuknya beberapa spektrum halus dari atom hidrogen dalam medan listrik.
  - E. pengaruh medan listrik pada atom hidrogen.
5. Pandangan yang menjadi dasar timbulnya model atom mekanika kuantum adalah dari ....
  - A. Rutherford, Neils Bohr, dan Broglie
  - B. Pauli, Neils Bohr, dan de Broglie
  - C. Rutherford, de Broglie, dan Hund
  - D. Schrodinger, de Broglie, dan Heisenberg
  - E. Dalton, de Broglie, dan Heisenberg
6. Model matematika yang diajukan oleh Schrodinger menyatakan persamaan ....
  - A. energi potensial elektron
  - B. energi total elektron
  - C. energi kinetik elektron
  - D. pergerakan atom dalam ruang
  - E. energi antaraksi antara elektron dan inti
7. Definisi yang tepat tentang orbital adalah ....
  - A. lintasan elektron dalam mengelilingi inti atom
  - B. kebolehjadian ditemukannya elektron dalam atom
  - C. tempat elektron dalam mengelilingi inti atom
  - D. bentuk lintasan elektron mengelilingi inti atom
  - E. jenis-jenis elektron dalam suatu atom
8. Bilangan kuantum utama menurut teori atom mekanika kuantum menyatakan ....
  - A. energi atom hidrogen
  - B. tingkat energi elektron dalam atom
  - C. kecepatan pergerakan elektron
  - D. kedudukan elektron terhadap elektron lain
  - E. keadaan elektron tereksitasi
9. Bilangan kuantum magnetik menurut teori atom mekanika kuantum menentukan ....
  - A. tingkat energi elektron
  - B. arah putaran elektron
  - C. peluang menemukan elektron
  - D. orientasi orbital dalam ruang
  - E. bentuk orbital
10. Bilangan kuantum azimut menurut teori atom mekanika kuantum menentukan ....
  - A. tingkat energi elektron
  - B. arah putaran elektron
  - C. peluang menemukan elektron
  - D. orientasi orbital dalam ruang
  - E. bentuk orbital
11. Bilangan kuantum spin menunjukkan ....
  - A. arah putaran elektron mengelilingi inti
  - B. arah putaran elektron pada porosnya
  - C. orientasi orbital dalam subkulit
  - D. arah putaran inti atom pada porosnya
  - E. kedudukan elektron dalam atom
12. Bentuk orbital ditentukan oleh bilangan kuantum ....
 

A. n	D. s
B. m	E. m dan $\ell$
C. $\ell$	
13. Orbital-s berbentuk bola. Hal ini disebabkan oleh ....
  - A. bentuk kerapatan elektron di dalam atom
  - B. aturan dalam teori atom mekanika kuantum
  - C. subkulit berharga nol
  - D. bilangan kuantum magnetik nol
  - E. bilangan kuantum spin berharga  $\frac{1}{2}$
14. Untuk  $n = 3$ , memiliki bilangan kuantum azimut dan subkulit ....
 

A. 0(s)	D. 0(s), 1(p)
B. 1(p)	E. 0(s), 1(p), 2(d)
C. 2(d)	

15. Jumlah orbital dalam suatu atom yang memiliki empat kulit ( $n = 4$ ) adalah ....  
 A. 8 D. 20  
 B. 12 E. 32  
 C. 16
16. Jumlah maksimum elektron yang dapat menghuni orbital dengan  $n = 3$  adalah ....  
 A. 8 D. 18  
 B. 9 E. 32  
 C. 10
17. Jumlah orbital dalam subkulit  $2p$  adalah ....  
 A. 2 D. 10  
 B. 4 E. 14  
 C. 6
18. Jumlah maksimum elektron yang dapat menghuni subkulit  $d$  adalah ....  
 A. 2 D. 14  
 B. 6 E. 18  
 C. 10
19. Jumlah maksimum elektron dalam subkulit  $f$  adalah ....  
 A. 2 D. 14  
 B. 6 E. 18  
 C. 10
20. Jumlah orbital yang terdapat dalam atom Ne dengan nomor atom 10 adalah ....  
 A. 2 D. 7  
 B. 3 E. 10  
 C. 5
21. Jumlah orbital yang terdapat dalam atom Mn dengan nomor atom 25 adalah ....  
 A. 4 D. 13  
 B. 7 E. 15  
 C. 10
22. Bilangan kuantum yang *tidak* diizinkan menurut aturan Pauli adalah ....  
 A.  $n = 3, \ell = 0, m = 0, \text{ dan } s = +\frac{1}{2}$   
 B.  $n = 3, \ell = 1, m = 1, \text{ dan } s = -\frac{1}{2}$   
 C.  $n = 3, \ell = 2, m = -1, \text{ dan } s = +\frac{1}{2}$   
 D.  $n = 3, \ell = 1, m = 2, \text{ dan } s = -\frac{1}{2}$   
 E.  $n = 3, \ell = 2, m = 2, \text{ dan } s = +\frac{1}{2}$
23. Berikut ini yang berturut-turut merupakan bilangan kuantum  $n, \ell, m$ , dan  $s$  yang menerangkan konfigurasi elektron terluar atom  ${}^5\text{B}$  pada keadaan dasar adalah ....  
 A.  $2, 1, -1, \frac{1}{2}$  D.  $2, 0, 0, \frac{1}{2}$   
 B.  $2, 1, 0, \frac{1}{2}$  E. Opsi (a), (b), (c) benar  
 C.  $2, 1, +1, \frac{1}{2}$
24. Bilangan kuantum yang diizinkan menurut aturan Pauli adalah ....  
 A.  $n = 2, \ell = 0, m = 0, \text{ dan } s = +\frac{1}{2}$   
 B.  $n = 2, \ell = 1, m = 2, \text{ dan } s = -\frac{1}{2}$   
 C.  $n = 2, \ell = 2, m = -1, \text{ dan } s = +\frac{1}{2}$   
 D.  $n = 2, \ell = 1, m = 2, \text{ dan } s = +\frac{1}{2}$   
 E.  $n = 2, \ell = 2, m = 2, s = +\frac{1}{2}$
25. Unsur X memiliki konfigurasi elektron:  $1s^2 2s^2 2p^6$ . Harga keempat bilangan kuantum elektron valensi dari atom X adalah ....  
 A.  $n = 2, \ell = 0, m = 0, \text{ dan } s = -\frac{1}{2}$   
 B.  $n = 2, \ell = 1, m = 1, \text{ dan } s = -\frac{1}{2}$   
 C.  $n = 3, \ell = 0, m = 0, \text{ dan } s = +\frac{1}{2}$   
 D.  $n = 3, \ell = 1, m = -1, \text{ dan } s = +\frac{1}{2}$   
 E.  $n = 3, \ell = 2, m = 0, \text{ dan } s = +\frac{1}{2}$
26. Diagram tingkat energi orbital untuk atom hidrogen adalah ....  
 A.  $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 3d < 4s$   
 B.  $1s = 2s < 2p = 3p < 3d = 4s$   
 C.  $1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s$   
 D.  $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 3d = 4s$   
 E.  $1s = 2s = 2p = 3s = 3p = 3d = 4s$
27. Diagram tingkat energi atom berelektron banyak menurut aturan aufbau adalah ....  
 A.  $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d$   
 B.  $1s = 2s < 2p = 3p < 3d = 4s$   
 C.  $1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s$   
 D.  $1s = 2s < 2p = 3p < 3d = 3f < 4s$   
 E.  $1s = 2s = 2p = 3s = 3p = 3d = 4s$
28. Konfigurasi elektron yang tidak sesuai dengan aturan Hund adalah ....  
 A.  $1s^2$   
 B.  $1s^2 2s^2 2p_x^1$   
 C.  $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^2$   
 D.  $1s^2 2s^1$   
 E.  $1s^2 2s^2 2p_z^1$
29. Andaikan larangan Pauli membolehkan terdapat tiga elektron dalam satu orbital, seperti berikut:  
 1.  $1s^3$ ;  
 2.  $1s^3 2s^3 2p^6$ ;  
 3.  $1s^3 2s^3 2p^9$ ;  
 4.  $1s^3 2s^3 2p^9 3s^3$ .  
 Konfigurasi elektron gas mulia adalah ....  
 A. 1, 2, 3 D. 3  
 B. 1, 3 E. 1, 4  
 C. 2, 4

30. Unsur  ${}_{19}\text{K}$  memiliki konfigurasi elektron ....
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4d^1$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 3d^5$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 4s^2$
31. **UMPTN 99/A:**  
Nomor atom unsur X sama dengan 26. Konfigurasi elektron ion  $\text{X}^{3+}$  adalah ....
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$
32. Konfigurasi elektron pada keadaan dasar dari atom  ${}_{29}\text{Cu}$  adalah ....
- $[\text{Ar}]^{18} 3d^9 4s^2$
  - $[\text{Ar}]^{18} 4s^2 3d^9$
  - $[\text{Ar}]^{18} 3d^{10} 4s^1$
  - $[\text{Ar}]^{18} 3d^5 4s^2 4p^4$
  - $[\text{Ar}]^{18} 3d^6 4s^2 4p^3$
33. Konfigurasi elektron pada keadaan dasar dari ion  ${}_{26}\text{Fe}^{3+}$  adalah ....
- $[\text{Ar}]^{18} 3d^3 4s^2$
  - $[\text{Ar}]^{18} 3d^6 4s^2$
  - $[\text{Ar}]^{18} 3d^5$
  - $[\text{Ar}]^{18} 3d^4 4s^1$
  - $[\text{Ar}]^{18} 3d^6$
34. Nomor atom belerang adalah 16. Dalam ion sulfida,  $\text{S}^{2-}$ , konfigurasi elektronnya adalah ....
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$
35. Konfigurasi elektron yang lebih stabil adalah ....
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^6$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 4s^1$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2 4s^2$
36. Jika unsur M dapat membentuk senyawa  $\text{M}(\text{HSO}_4)_2$  yang stabil maka konfigurasi elektron unsur M adalah ....
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
  - $1s^2 2s^2 2p^4$
37. Jumlah elektron valensi dari unsur dengan konfigurasi elektron  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$  adalah ....
- 1
  - 3
  - 5
  - 7
  - 8
38. Jumlah elektron valensi untuk atom dengan konfigurasi elektron  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^5$  adalah ....
- 1
  - 3
  - 5
  - 7
  - 8
39. **UMPTN 97/A:**  
Masing-masing unsur P, Q, R, S, dan T berikut ini memiliki konfigurasi elektron berikut:
- P :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$   
 Q :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$   
 R :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$   
 S :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$   
 T :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 3d^{10} 4s^2 4p^6 5s^2$
- Pasangan yang merupakan unsur-unsur dari satu golongan yang sama adalah ....
- P dan T
  - P dan Q
  - P dan S
  - P dan R
  - S dan T
40. **UMPTN 97/C:**  
Di antara unsur-unsur  ${}_{4}\text{A}$ ,  ${}_{12}\text{B}$ ,  ${}_{18}\text{C}$ , dan  ${}_{16}\text{D}$  yang terletak dalam golongan yang sama pada tabel periodik adalah ....
- A dan B
  - A dan C
  - B dan C
  - B dan D
  - A dan D
41. Konfigurasi elektron ion  $\text{L}^{3+}$  adalah sebagai berikut.  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3$   
Pada sistem periodik atom unsur L terletak pada ....
- periode ke-3 golongan VIA
  - periode ke-3 golongan VIIA
  - periode ke-4 golongan IVB
  - periode ke-4 golongan VIA
  - periode ke-4 golongan VIB
42. Unsur X berada dalam golongan IIA periode ke-4. Konfigurasi elektron unsur tersebut adalah ....
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2 3d^1 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
  - $1s^2 2s^2 2p^4 3s^2 3p^6 3d^2 4s^0$
43. Unsur X berada dalam golongan IA periode ke-4. Konfigurasi elektron unsur tersebut adalah ....
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2 3d^1 4s^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
  - $1s^2 2s^2 2p^4 3s^2 3p^6 3d^2 4s^0$
44. Pasangan ion-ion berikut yang keduanya memiliki konfigurasi elektron tidak sama adalah
- $\text{Mg}^{2+}$  dan  $\text{Na}^+$
  - $\text{N}^-$  dan  $\text{F}^+$
  - $\text{O}^-$  dan  $\text{Na}^+$
  - $\text{O}^{2-}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$
  - $\text{Ne}^+$  dan  $\text{O}^-$
45. **UMPTN 95/C:**  
Unsur X termasuk golongan oksigen, tidak dapat membentuk senyawa atau ion ....
- $\text{X}^{2-}$
  - $\text{H}_2\text{X}$
  - $\text{XO}_4^{2-}$
  - $\text{XH}_3$
  - $\text{ZnX}$

46. **UMPTN 95/A:**

Unsur X memiliki konfigurasi elektron:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$  dapat bereaksi dengan unsur Y yang terletak pada golongan oksigen membentuk senyawa ....

- A. XY                      D.  $X_3Y$   
 B.  $X_2Y$                   E.  $XY_2$   
 C.  $X_2Y_3$

47. Unsur M memiliki konfigurasi elektron:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ . Senyawa yang dapat dibentuk dengan atom klor dari unsur tersebut adalah ....

- A. MCl                      D.  $MCl_4$   
 B.  $MCl_2$                   E.  $MCl_5$   
 C.  $MCl_3$

48. **UMPTN 96/A:**

Unsur X memiliki nomor atom 20. Senyawa garamnya jika dipanaskan akan menghasilkan gas yang dapat mengeruhkan air barit ( $BaCl_2$ ). Rumus senyawa garam itu adalah ....

**B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.**

- Dalam hal apakah model atom bohr berbeda dengan model atom mekanika kuantum?
- Apakah yang dapat diketahui tentang keberadaan elektron dalam dengan model atom mekanika kuantum?
- Tuliskan keempat bilangan kuantum yang digunakan dalam model atom mekanika kuantum dan berikan uraiannya.
- Tuliskan semua set keempat bilangan kuantum yang mungkin untuk elektron dalam orbital 3p.
- Berapakah jenis orbital yang dihuni oleh elektron dengan bilangan kuantum  $n = 4$ ,  $\ell = 1$ ? Berapakah jumlah orbital yang ditemukan di dalam atom K?
- Tuliskan bilangan kuantum untuk setiap elektron yang ditemukan dalam atom oksigen. Contohnya, bilangan kuantum untuk satu elektron dalam 2s adalah:  $n = 2$ ;  $\ell = 0$ ;  $m = 0$ ;  $s = +\frac{1}{2}$ .
- Bilangan kuantum yang mengkarakterisasi elektron pada tingkat energi terendah dari atom hidrogen adalah  $n = 1$ ;  $\ell = 0$ ,  $m = 0$ ; dan  $s = +\frac{1}{2}$ . Eksitasi elektron dapat mempromosikan ke tingkat energi lebih tinggi. Set bilangan kuantum manakah yang dilarang untuk elektron tereksitasi?
  - $n = 1$ ,  $\ell = 0$ ,  $m = -1$ ,  $s = +\frac{1}{2}$
  - $n = 3$ ,  $\ell = 1$ ,  $m = 0$ ,  $s = +\frac{1}{2}$
  - $n = 3$ ,  $\ell = 2$ ,  $m = -2$ ,  $s = -\frac{1}{2}$
  - $n = 7$ ,  $\ell = 4$ ,  $m = -2$ ,  $s = +\frac{1}{2}$

- A.  $X_2SO_4$                   D.  $XCO_3$   
 B.  $XSO_4$                       E.  $XCl_2$   
 C.  $X_2CO_3$

49. **UMPTN 98/B:**

Unsur X terdapat dalam golongan karbon dan unsur Y memiliki nomor atom 17. Senyawa yang dapat terbentuk dari kedua unsur tersebut adalah ....

- A. XY                      D.  $XY_3$   
 B.  $X_2Y$                   E.  $XY_4$   
 C.  $XY_2$

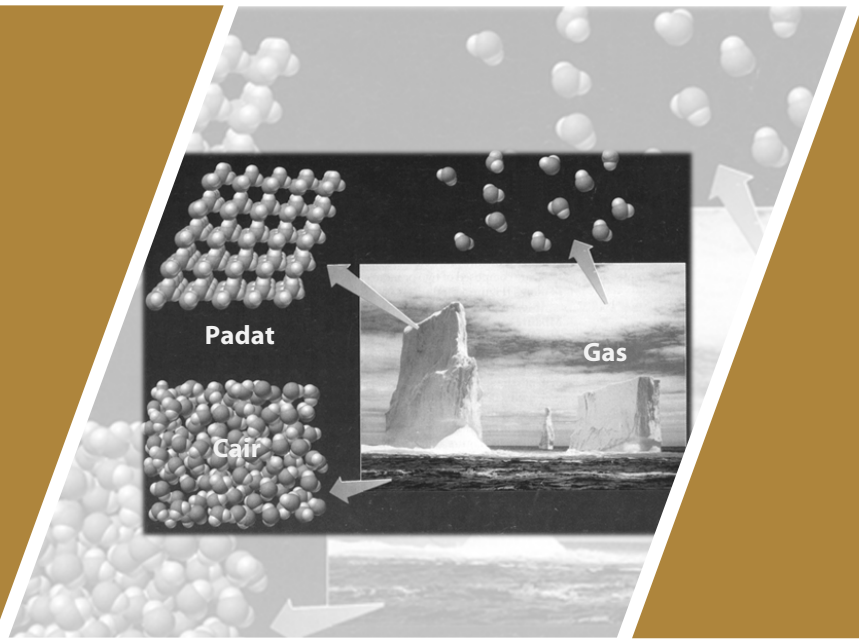
50. **UMPTN 98/B:**

Suatu unsur X memiliki konfigurasi elektron  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ . Rumus senyawa yang mungkin akan terbentuk antara unsur X dengan kalsium ( ${}_{20}Ca$ ) adalah ....

- A. CaX                      D.  $Ca_2X_3$   
 B.  $Ca_2X$                   E.  $Ca_3X_2$   
 C.  $CaX_2$

- Tuliskan konfigurasi elektron untuk setiap atom berikut:
  - ${}_{13}^{27}Al$
  - ${}_{16}^{32}S$
  - ${}_{18}^{40}Ar$
  - ${}_{20}^{40}Ca$
  - ${}_{22}^{48}Ti$
- Tuliskan konfigurasi elektron untuk setiap ion berikut:
  - $N^{3-}$
  - $Mg^{2+}$
  - $Al^{3+}$
  - $Cl^-$
  - $Sc^{3+}$
- Manakah konfigurasi elektron yang dibolehkan dan yang dilarang menurut aturan Pauli?
  - $1s^2 2s^1 2p^3$
  - $1s^2 2s^2 2p^4$
  - $1s^2 2s^3 2p^3$
  - $1s^2 2s^2 2p^5$
  - $1s^2 2s^2 2p^2$
  - $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3d^9$
- Andaikan bilangan kuantum spin memiliki tiga harga yang dibolehkan ( $s = 0, +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ ). Tuliskan nomor atom unsur neon.
- Dalam hal apakah orbital 1s dan 2s berbeda dan keduanya mirip?
- Mengapa pada periode pertama hanya terdapat 2 unsur; periode kedua dan ketiga 8 unsur; pada periode keempat dan kelima 18 unsur; dan pada periode keenam 32 unsur? Jelaskan.
- Bagaimanakah cara untuk menentukan golongan dan periode unsur-unsur golongan utama, transisi dan transisi dalam?
- Jika ditemukan unsur dengan nomor atom 121, pada golongan dan periode berapakah unsur tersebut ditempatkan dalam sistem periodik?

# Bab 2



Sumber: *Chemistry The Central Science, 2000*

Gaya antarmolekul menyebabkan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dapat memiliki wujud yang berbeda.

## Struktur dan Gaya Antarmolekul

### Hasil yang harus Anda capai:

memahami struktur atom untuk meramalkan sifat-sifat periodik unsur, struktur molekul, dan sifat-sifat senyawa.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menjelaskan teori jumlah pasangan elektron di sekitar inti atom dan teori hibridisasi untuk meramalkan bentuk molekul;
- menjelaskan interaksi antarmolekul (gaya antarmolekul) dengan sifatnya.

Salah satu tujuan mempelajari ilmu Kimia adalah mengkaji tentang bagaimana partikel berukuran sangat kecil bergabung satu dengan lainnya membentuk struktur materi yang sangat besar seperti kita lihat sehari-hari, contohnya molekul air.

Materi yang kita amati sehari-hari sesungguhnya tersusun dari sejumlah partikel yang bergabung melalui ikatan kimia atau gaya antarmolekul. Dengan diketahuinya jenis ikatan yang memperkokoh partikel, diharapkan kita dapat meramalkan bentuk geometri suatu materi, khususnya geometri molekul.

Bagaimanakah bentuk dasar suatu molekul? Bagaimanakah antaraksi antarmolekul dan pengaruh terhadap sifatnya? Anda dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut jika Anda mempelajari bab ini dengan saksama.

- A. Struktur Molekul Dasar
- B. Teori Domain Elektron
- C. Teori Ikatan Valensi dan Hibridisasi
- D. Gaya Antarmolekul

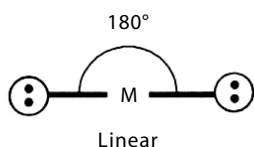
## Tes Kompetensi Awal

1. Menurut Anda, bagaimanakah cara meramalkan bentuk molekul suatu senyawa?
2. Apakah yang Anda ketahui tentang hibridisasi?
3. Apakah yang Anda ketahui tentang ikatan hidrogen?

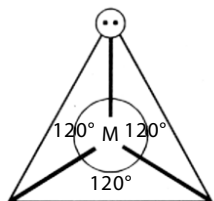
## A. Struktur Molekul Dasar

Walaupun jumlah materi di alam sangat banyak dan beragam, tetapi pada dasarnya materi tersebut dibangun oleh beberapa jenis atom dengan struktur yang terbatas. Jumlah cara penyusunan atom dalam molekul tidak banyak sebab dibatasi oleh sudut antarikatan dan sifat partikel penyusunnya. Teori yang mengkaji aspek struktur molekul adalah teori ikatan valensi (berdasarkan mekanika kuantum), teori domain elektron (berdasarkan teori Lewis), dan teori hibridisasi.

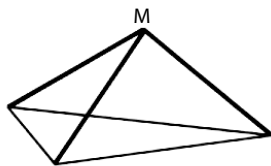
Terdapat sekitar tujuh bentuk molekul yang sederhana, yaitu bentuk linear, trigonal planar, trigonal piramidal, segiempat datar, tetrahedral, trigonal bipiramidal, dan oktahedral.



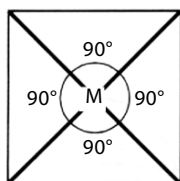
Linear



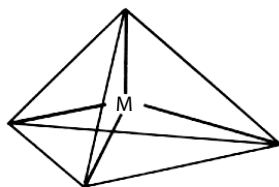
Trigonal Planar



Trigonal piramidal



Bujur sangkar



Tetrahedral

### 1. Bentuk Linear

Suatu molekul dikatakan linear jika atom-atom yang menyusun molekul tersebut berada dalam suatu garis lurus. Contohnya,  $\text{BeCl}_2$  dan  $\text{CO}_2$ . Sudut yang dibentuk oleh ikatan antara dua atom melalui atom pusat sebesar  $180^\circ$ .

### 2. Trigonal Planar

Suatu bentuk molekul dikatakan trigonal planar jika di dalam molekulnya terdapat empat buah atom dan semua atom berada pada bidang yang sama. Atom pusat dikelilingi oleh tiga atom lain yang berada pada sudut-sudut segitiga. Sudut ikatan yang dibentuk di antara dua ikatan melalui atom pusat sama besar yaitu  $120^\circ$ . Contohnya, molekul  $\text{BCl}_3$  dan  $\text{BF}_3$ .

### 3. Trigonal Piramidal

Trigonal piramidal adalah suatu bentuk molekul dengan empat buah muka segitiga sama sisi. Suatu molekul dikatakan berbentuk trigonal piramidal jika memiliki empat buah atom. Atom pusat ditempatkan pada sudut puncak limas, dan atom lainnya berada pada sudut-sudut limas yang berada pada bidang datar segitiga. Contohnya, molekul  $\text{NH}_3$ .

### 4. Bujur Sangkar

Suatu bentuk molekul dikatakan bujur sangkar jika dalam molekul terdapat lima buah atom dan semua atom berada pada bidang datar yang sama. Atom pusat dikelilingi oleh empat atom lain yang berada pada sudut-sudut segiempat. Sudut ikatan yang dibentuk antara dua ikatan yang melalui pusat sama besar, yaitu  $90^\circ$ . Contohnya, molekul  $\text{XeF}_4$ .

### 5. Tetrahedral

Tetrahedral adalah limas segiempat dengan muka segitiga sama sisi. Suatu bentuk molekul tergolong tetrahedral jika dalam molekulnya terdapat lima buah atom. Atom pusat ditempatkan pada pusat tetrahedral



dan empat atom lain berada pada sudut-sudut tetrahedral yang terlihat pada ujung-ujung bidang segitiga sama sisi. Sudut ikatan yang dibentuk sama besar, yaitu  $109,5^\circ$ . Contohnya, molekul  $\text{CH}_4$ .

## 6. Trigonal Bipiramidal

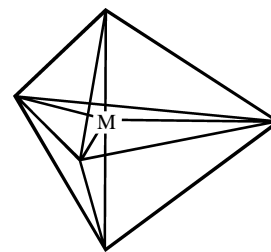
Trigonal bipiramidal terdiri atas dua buah limas yang bagian alasnya berimpit. Suatu molekul memiliki bentuk trigonal bipiramidal jika dalam molekulnya terdapat enam buah atom.

Dalam trigonal bipiramidal, atom pusat ditempatkan pada pusat alas yang berimpit dan dikelilingi oleh lima atom lain yang ditempatkan pada sudut-sudut trigonal bipiramidal. Dalam bentuk molekul ini sudut ikatan tidak sama. Sudut ikatan yang terletak pada pusat bidang datar segitiga masing-masing  $120^\circ$ , sedangkan sudut ikatan antara bidang pusat dan titik sudut atas serta bawah bidang adalah  $90^\circ$ . Contohnya, molekul  $\text{PCl}_5$ .

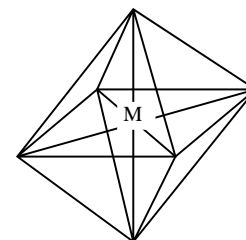
## 7. Oktahedral

Oktahedral adalah bentuk yang memiliki delapan muka segitiga, dibentuk dari dua buah limas alas segiempat yang berimpit. Suatu molekul memiliki bentuk oktahedral jika tersusun dari tujuh atom.

Atom pusat ditempatkan pada pusat bidang segiempat yang berimpit. Enam atom lain terletak pada sudut-sudut oktahedral. Sudut antarikatan yang terbentuk sama besar, yaitu  $90^\circ$ . Contohnya, molekul  $\text{SF}_6$  dan  $\text{XeF}_6$ .



Trigonal bipiramidal



Oktahedral

**Gambar 2.1**

Bentuk-bentuk molekul dasar

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

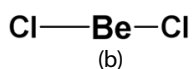
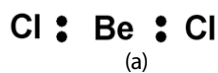
1. Tuliskan bentuk-bentuk molekul sederhana yang Anda ketahui, lalu buat gambarnya.
2. Berapakah besar sudut ikatan dalam bentuk molekul: trigonal planar, trigonal piramidal, tetrahedral, trigonal bipiramidal, dan oktahedral?

## B. Teori Domain Elektron

Metode yang dapat digunakan untuk meramalkan bentuk molekul adalah model rumus titik-elektron yang diperluas menjadi teori domain elektron atau teori tolakan pasangan elektron kulit valensi (VSEPR, *Valence Shell Electron Pair Repulsion*). Seperangkat aturan dikemas ke dalam teori domain elektron yang memungkinkan Anda dapat meramalkan bentuk molekul secara tepat. Teori ini didasarkan pada jumlah pasangan elektron ikatan dan pasangan elektron bebas dalam kulit valensi atom pusat suatu molekul. Teori ini menyatakan bahwa bentuk molekul dapat ditentukan berdasarkan tolakan pasangan elektron dalam kulit valensi atom pusat. Oleh karena itu, teori ini disebut teori domain elektron atau VSEPR.

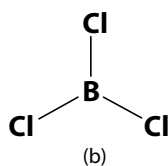
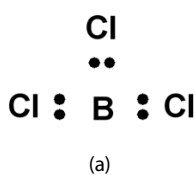
Bagaimana teori ini dapat diterapkan untuk memprediksi bentuk suatu molekul? Untuk mempermudah mempelajarinya, molekul-molekul akan dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu molekul-molekul yang memiliki atom pusat:

1. berikatan kovalen tunggal yang jenuh;
2. berikatan kovalen tunggal yang tidak jenuh (memiliki elektron bebas); dan
3. berikatan kovalen rangkap.



**Gambar 2.2**

(a) Struktur Lewis  $\text{BeCl}_2$   
 (b) Bentuk molekul  $\text{BeCl}_2$  (linear)



**Gambar 2.3**

(a) Struktur Lewis  $\text{BCl}_3$   
 (b) Bentuk molekul  $\text{BCl}_3$  (trigonal planar).

## 1. Bentuk Molekul Tanpa Elektron Bebas

Simak molekul  $\text{BeCl}_2$  dengan menggunakan rumus Lewis yang ditunjukkan **Gambar 2.2**. Sebagai atom pusat adalah berilium dengan dua elektron valensi. Kedua elektron tersebut digunakan untuk berikatan kovalen dengan atom-atom klorin membentuk dua ikatan kovalen tunggal.

Pasangan elektron ikatan dalam kulit valensi atom pusat akan mengalami tolakan disebabkan muatannya sejenis. Guna meminimalkan tolakan tersebut maka pasangan elektron ikatan akan menjauh satu sama lain. Menurut pendapat Anda, pada posisi bagaimana tolakan akan minimal? Tolakan minimum dicapai jika pasangan elektron ikatan berada pada posisi dengan sudut  $180^\circ$ . Oleh karena sudut ikatan yang terbentuk antara atom klorin dan atom klorin yang lain melalui titik pusat (atom Be) membentuk  $180^\circ$  maka bentuk molekul yang paling mungkin adalah linear.

Sekarang, tinjau molekul dengan tiga pasang elektron ikatan dalam kulit valensi atom pusat. Contoh dari molekul ini adalah boron triklorida,  $\text{BCl}_3$ , rumus Lewisnya ditunjukkan **Gambar 2.3a**.

Tiga pasang elektron ikatan dalam kulit valensi atom pusat berusaha meminimalkan tolakan dengan cara memposisikan sejauh mungkin satu sama lain. Tolakan akan minimum jika ketiga pasang elektron ikatan berada pada posisi  $120^\circ$  satu sama lain. Akibatnya, bentuk molekul yang terbentuk adalah trigonal planar dengan atom pusat berada di tengah-tengah segitiga.

Sudah pahamkah Anda dengan dua contoh bentuk molekul pada **Gambar 2.3**? Jika belum paham, simak contoh penerapan teori domain elektron dalam bentuk molekul yang lain.

### Contoh 2.1

#### Meramalkan Bentuk Molekul dengan Ikatan Kovalen Jenuh

Ramalkan bentuk molekul  $\text{PCl}_5$ .

**Jawab:**

- Tentukan atom pusat dan jumlah elektron valensi;
- gambaran struktur Lewisnya; dan
- ramalkan bentuk molekulnya.

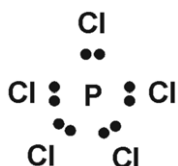
Molekul  $\text{PCl}_5$  memiliki atom pusat P (atom pusat biasanya memiliki nilai keelektronegatifan yang lebih kecil daripada atom penyusun lainnya).

Struktur lewis dari molekul  $\text{PCl}_5$  sebagai berikut:

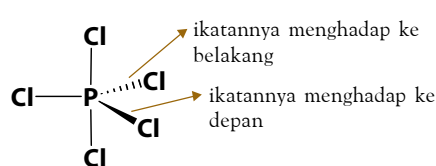


Atom P memiliki 5 elektron valensi. Kelima elektron ini membentuk ikatan kovalen tunggal dengan 5 atom Cl.

Struktur Lewis  $\text{PCl}_5$ :



Trigonal bipiramidal



Bentuk molekul dengan lima pasang elektron ikatan dengan tolakan minimum adalah trigonal bipiramidal.

## 2. Molekul Kovalen Tunggal Tidak Jenuh

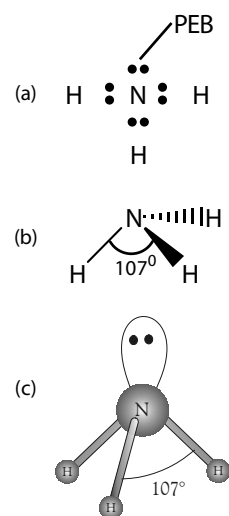
Molekul-molekul yang berikatan kovalen tunggal dan tidak jenuh adalah molekul-molekul dengan atom pusat yang memiliki pasangan elektron bebas atau tidak digunakan untuk berikatan.  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $PCl_3$ , dan yang sejenis adalah contoh dari molekul jenis ini. Bagaimana meramalkan bentuk molekul yang memiliki pasangan elektron bebas (PEB)?

Simak molekul  $NH_3$  dengan atom pusat N dan memiliki 5 elektron valensi. Rumus Lewis molekul  $NH_3$  ditunjukkan oleh **Gambar 2.4a**. Pada atom N terdapat empat pasang elektron dalam kulit valensi. Tiga pasang merupakan pasangan elektron ikatan (PEI) dengan atom H dan satu pasang merupakan pasangan elektron bebas (PEB). Antara keempat pasang elektron dalam kulit valensi atom N terjadi tolakan satu sama lain sedemikian rupa sehingga dicapai tolakan minimum antara pasangan elektron tersebut. Berdasarkan data empirik, diketahui bahwa molekul  $NH_3$  berbentuk limas alas segitiga dengan sudut ikatan  $107^\circ$  (**Gambar 2.4b**). Bagaimana fakta ini dapat dijelaskan?

Oleh karena terdapat empat pasang elektron dalam kulit valensi atom N maka struktur ruang pasangan elektron yang paling mungkin adalah tetrahedral. Bentuk ini dapat diterima, seperti terlihat pada **Gambar 2.4c**. Akan tetapi, sudut ikatan dalam  $NH_3$  tidak sesuai dengan sudut tetrahedral, yakni  $109^\circ$ .

Jika tolakan antarpasangan elektron dalam kulit valensi atom N sama besar maka sudut ikatan harus  $109^\circ$ . Oleh karena faktanya  $107^\circ$ , ada perbedaan kekuatan tolakan antara PEI dan PEB, di mana PEB menolak lebih kuat dari PEI sehingga sudut ikatan di antara ketiga PEI lebih kecil dari sudut ikatan tetrahedral.

Hipotesis tersebut ternyata sangat tepat dan beralasan bahwa PEB menolak lebih kuat dari PEI sebab pasangan elektron bebas memerlukan ruang lebih besar dibandingkan pasangan elektron ikatan. Pada PEB, pergerakan elektron lebih leluasa dibandingkan PEI yang kaku dan tegar akibat terikat di antara dua atom. Akibatnya, PEB memerlukan ruang gerak yang lebih besar dari PEI dan berdampak pada tolakan PEB lebih besar dibandingkan tolakan di antara PEI.



**Gambar 2.4**

- Struktur Lewis  $NH_3$
- Bentuk molekul  $NH_3$  (trigonal piramidal)
- Struktur ruang pasangan elektron dalam kulit valensi atom N (tetrahedral)

### Kata Kunci

- Pasangan elektron bebas (PEB)
- Pasangan elektron ikatan (PEI)
- Kekuatan tolakan

### Contoh 2.2

#### Meramalkan Bentuk Molekul dengan Ikatan Kovalen Tidak Jenuh

Ramalkan bentuk molekul  $H_2O$ ? Diketahui sudut ikatan antara  $H-O-H$  sebesar  $105^\circ$ .

**Jawab:**

- Tentukan atom pusat dan jumlah elektron valensi.
- Gambarkan struktur Lewisnya.
- Ramalkan bentuk molekulnya dengan mempertimbangkan tolakan  $PEB > PEI$ .

Molekul  $H_2O$  memiliki atom pusat O.

Struktur Lewis  $H_2O$  sebagai berikut:



Atom O memiliki 6 elektron valensi, dua elektron berikatan dengan atom H dan sisanya sebagai PEB.

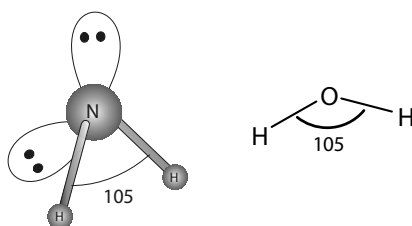
Struktur Lewis H<sub>2</sub>O:



Pada molekul H<sub>2</sub>O ada 4 pasang elektron dalam kulit valensi atom O, yaitu 2 PEI dan 2 PEB.

Oleh karena ada 4 pasang elektron dalam kulit valensi atom O, struktur ruang pasangan elektron yang dapat dibentuk adalah tetrahedral. Merujuk pada fakta bahwa sudut ikatan dalam H<sub>2</sub>O 105°, sedangkan sudut ikatan dalam tetrahedral 109° maka terjadi distorsi terhadap bentuk molekul tetrahedral.

Distorsi ini akibat tolakan antara kedua PEB lebih besar dibandingkan antara kedua PEI, akibatnya sudut yang dibentuk oleh molekul H<sub>2</sub>O lebih kecil dari 109°. Simak struktur ruang pasangan elektron dalam molekul H<sub>2</sub>O berikut.



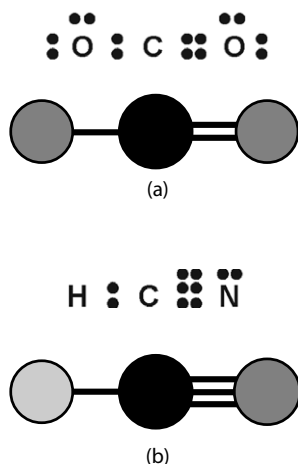
Strukturinya membentuk tetrahedral terdistorsi, sedangkan bentuk molekul dari H<sub>2</sub>O berupa huruf “V” (tidak linear sebagaimana pada molekul triatom yang lain, seperti BeCl<sub>2</sub> atau CO<sub>2</sub>).

### 3. Molekul Kovalen Berikatan Rangkap

Bagaimanakah pandangan teori domain elektron terhadap molekul yang memiliki ikatan kovalen rangkap dua atau rangkap tiga? Menurut teori domain elektron, ikatan rangkap dianggap sebagai satuan gugus elektron seperti halnya ikatan tunggal yang menghubungkan atom dengan atom pusat M. Contohnya, molekul CO<sub>2</sub> yang mengandung ikatan rangkap dua.

Menurut teori domain elektron, bentuk molekul CO<sub>2</sub> dapat dianggap sebagai dua gugus pasangan elektron ikatan, seperti pada molekul BeCl<sub>2</sub>. Oleh karena itu, bentuk molekul CO<sub>2</sub> dianggap linear (perhatikan Gambar 2.5a).

Contoh molekul lain dengan ikatan rangkap tiga adalah HCN. Pada molekul HCN ada dua gugus pasangan elektron pada atom pusat C, yaitu pasangan elektron ikatan dengan H dan tiga pasangan elektron ikatan dengan N (ikatan rangkap tiga) sehingga diramalkan memiliki bentuk molekul linear (perhatikan Gambar 2.5b).



**Gambar 2.5**

- (a) Struktur Lewis dan bentuk molekul CO<sub>2</sub>  
 (b) Struktur Lewis dan bentuk molekul HCN

### Contoh 2.3

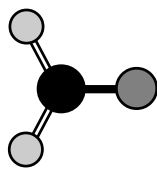
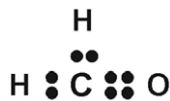
#### Meramalkan Geometri Molekul Berikatan Rangkap

Ramalkan bentuk molekul formaldehida, HCOH.

**Jawab:**

- Gambarkan struktur Lewisnya.
- Ramalkan bentuk molekulnya dengan menganggap ikatan rangkap sebagai ikatan tunggal.

Struktur Lewis H<sub>2</sub>CO:



Oleh karena ikatan rangkap dua antara C dan O dianggap sebagai ikatan tunggal maka bentuk molekul H<sub>2</sub>CO dapat dikategorikan sebagai molekul MX<sub>3</sub>. Bentuk molekul MX<sub>3</sub> adalah trigonal planar.

Berapakah sudut ikatan yang terbentuk dalam molekul formaldehida pada **Contoh 2.3**? Tentu Anda akan menduga 120° sebab bentuk molekulnya trigonal planar. Walaupun ikatan rangkap diperlakukan sebagai satu gugusan elektron seperti ikatan tunggal, tetapi ikatan rangkap memiliki kerapatan muatan elektron lebih tinggi daripada ikatan tunggal. Akibatnya, tolakan ikatan rangkap terhadap ikatan tunggal lebih kuat dan berdampak pada sudut ikatan.

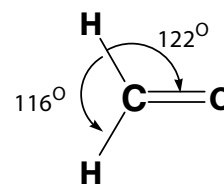
Kekuatan tolakan ikatan rangkap serupa dengan PEB sehingga sudut ikatan H–C–H dalam molekul H<sub>2</sub>CO tidak sama besar dengan sudut ikatan H–C = O. Hasil kajian menunjukkan sudut ikatan sebesar 116° dan 122° (lihat **Gambar 2.6**).

Berdasarkan uraian tersebut, dapatkah Anda menyimpulkan teori domain elektron dalam memprediksi struktur molekul? Andaikan M menyatakan atom pusat, X menyatakan atom yang terikat pada atom pusat, dan pasangan elektron bebas dinyatakan dengan E maka rumus bentuk molekul dapat diungkapkan sebagai MX<sub>m</sub>E<sub>n</sub>, dengan m adalah jumlah ligan dan n adalah jumlah pasangan elektron bebas dalam kulit valensi atom pusat. Berdasarkan rumusan tersebut, Anda dapat menyatakan molekul dengan rumusan tersebut. Contohnya, CH<sub>4</sub> sebagai MX<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> sebagai MX<sub>3</sub>E, dan H<sub>2</sub>O sebagai MX<sub>2</sub>E<sub>2</sub>.

Hasil-hasil yang dicapai dengan teori domain elektron dalam meramalkan bentuk molekul untuk molekul-molekul berikatan tunggal dan rangkap disajikan pada **Tabel 2.1** berikut.

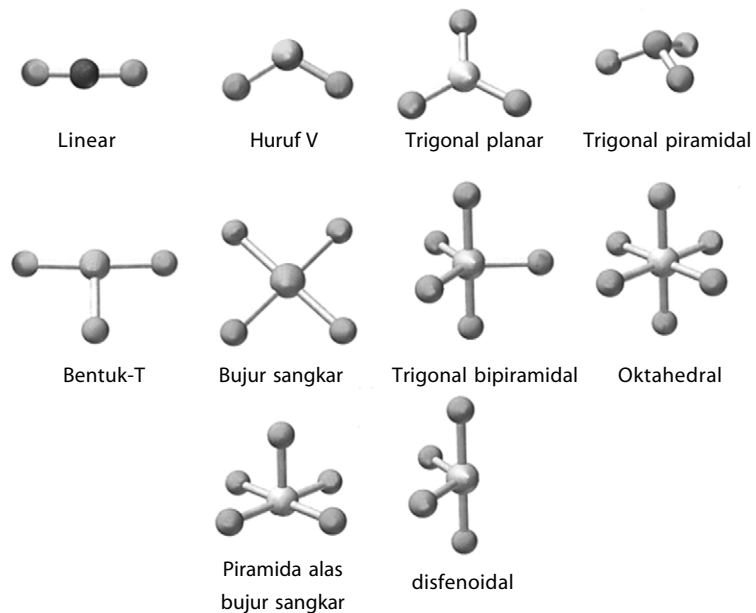
**Tabel 2.1** Teori Domain Elektron dalam Meramalkan Bentuk Molekul.

Pasangan Elektron			Struktur Ruang Pasangan Elektron	Bentuk Molekul	Kelompok	Contoh Molekul
Total	Ikatan	Bebas				
2	2	0	Linear	Linear	MX <sub>2</sub>	BeCl <sub>2</sub>
3	3	0	Trigonal planar	Trigonal planar Huruf	MX <sub>3</sub> MX <sub>2</sub> E	BH <sub>3</sub> dan BCl <sub>3</sub> SnCl <sub>2</sub>
	2	1				
4	4	0	Tetrahedral	Tetrahedral Trigonal piramidal Huruf	MX <sub>4</sub> MX <sub>3</sub> E MX <sub>2</sub> E <sub>2</sub>	CCl <sub>4</sub> dan SiH <sub>4</sub> NH <sub>3</sub> dan PCl <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O dan SCl <sub>2</sub>
	3	1				
	2	2				
5	5	0	Trigonal bipiramidal	Trigonal bipiramidal Disfenoidal Bentuk-T Linear	MX <sub>5</sub> MX <sub>4</sub> E MX <sub>3</sub> E <sub>2</sub> MX <sub>2</sub> E <sub>3</sub>	PCl <sub>5</sub> dan PF <sub>5</sub> SF <sub>4</sub> ClF <sub>3</sub> XeF <sub>2</sub>
	4	1				
	3	2				
	2	3				
6	6	0	Oktahedral	Oktahedral Piramida alas bujur sangkar Bujur sangkar	MX <sub>6</sub> MX <sub>5</sub> E MX <sub>4</sub> E <sub>2</sub>	SF <sub>6</sub> ClF <sub>5</sub> XeF <sub>4</sub>
	5	1				
	4	2				



**Gambar 2.6** Sudut ikatan H-C-H berbeda dengan H-C = O





**Gambar 2.7**  
Bentuk molekul berdasarkan teori domain elektron

### Kegiatan Inkuiri



Urutkan dan jelaskan kekuatan tolakan antara PEB vs PEB, PEB vs PEI, dan PEI vs PEI.

### Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Jelaskan metode yang dapat digunakan untuk meramalkan bentuk dari suatu molekul.
2. Bagaimanakah tahapan menentukan suatu bentuk molekul dengan ikatan kovalen jenuh? Jelaskan.
3. Bagaimanakah bentuk molekul dari  $\text{SO}_2$ ? Ramalkan oleh Anda.

## C. Teori Ikatan Valensi dan Hibridisasi

Teori domain elektron sangat bermanfaat untuk meramalkan bentuk molekul sederhana, tetapi teori tersebut tidak menjelaskan bagaimana elektron-elektron dalam kulit terluar dari atom pusat dapat membentuk struktur tertentu. Untuk mengetahui hal ini dapat dijelaskan dengan hibridisasi orbital atom sebagai implementasi dari teori ikatan valensi.

### 1. Prinsip Umum Teori Ikatan Valensi

Menurut teori ikatan valensi, ikatan akan terbentuk antara dua atom jika memenuhi syarat sebagai berikut.

- a) Ketika membentuk ikatan, orbital-orbital pada atom pusat mengadakan restrukturisasi melalui proses hibridisasi membentuk orbital hibrida. Selanjutnya, orbital hibrida ini berikatan dengan orbital atom lain.

- b) Orbital-orbital yang berikatan harus bertumpang tindih (*overlapping*) satu sama lain.
- c) Jumlah elektron dalam orbital ikatan yang bertumpang tindih maksimal dua elektron dengan spin berlawanan.
- d) Kekuatan ikatan bergantung pada derajat tumpang tindih. Semakin besar daerah tumpang tindih, semakin kuat ikatan yang terbentuk.
- e) Orbital-orbital atom selain orbital-s dalam berikatan memiliki arah tertentu sesuai orientasi orbital atom yang berikatan.

**Contoh:**

Tinjau molekul  $\text{CH}_4$ , empat atom hidrogen berikatan dengan atom karbon melalui ikatan kovalen, atom karbon sebagai atom pusat. Ikatan ini terbentuk melalui tumpang tindih orbital  $sp^3$  dari atom karbon dengan orbital  $1s$  dari atom hidrogen.

Kedua orbital yang berikatan ( $1s-sp^3$ ) dilokalisasi sepanjang ikatan C-H. Oleh karena itu, orbital yang terbentuk dinamakan orbital *ikatan terlokalisasi* yang diorientasikan pada daerah di antara atom karbon dan hidrogen.



**Catatan Note**

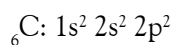
Model orbital ikatan terlokalisasi merupakan aplikasi teori ikatan valensi yang dikembangkan oleh Linus Pauling.

*Orbital localized-bond model is application of valence-bond theory which is developed by Linus Pauling.*

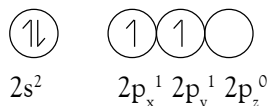
**2. Hibridisasi Orbital Atom**

Apakah yang dimaksud dengan hibridisasi? Hibridisasi adalah proses pencampuran orbital-orbital atom membentuk orbital baru dengan tingkat energi berada di antara orbital-orbital yang dicampurkan. Orbital hasil pencampuran dinamakan orbital hibrida.

Mengapa orbital-orbital berhibridisasi? Untuk dapat menjawab hal ini, tinjau molekul  $\text{CH}_4$  yang dibentuk dari satu atom karbon dan empat atom hidrogen dihubungkan dengan konfigurasi elektron atom karbon. Konfigurasi elektron atom karbon dengan nomor atom 6 sebagai berikut.

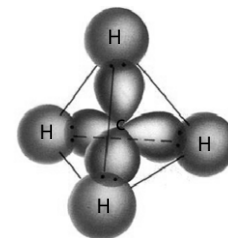


Elektron valensi pada atom karbon dapat diungkapkan dalam bentuk diagram sebagai berikut.



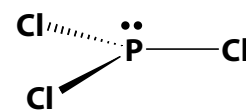
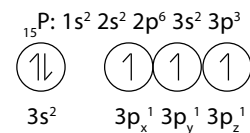
Jika Anda perhatikan konfigurasi elektron valensi tersebut, atom karbon hanya memiliki 2 elektron yang tidak berpasangan. Seharusnya, atom karbon maksimal mengikat 2 atom hidrogen membentuk  $\text{CH}_2$ , seperti pada molekul  $\text{PCl}_3$  (**Gambar 2.9**). Perhatikan **Gambar 2.8**. Mengapa atom karbon dapat membentuk empat ikatan kovalen dengan atom-atom lain? Kasus ini dan untuk semua molekul yang lain dapat dijelaskan dengan pendekatan hibridisasi.

Oleh karena tingkat energi orbital  $2s$  dan  $2p$  tidak berbeda jauh maka dimungkinkan orbital-orbital tersebut berhibridisasi membentuk orbital yang baru ketika akan membentuk ikatan dengan atom-atom lain. Bagaimana proses terjadinya hibridisasi orbital-orbital pada atom pusat? Simak kembali molekul  $\text{CH}_4$ . Ketika atom hidrogen mendekati atom karbon, terjadi perubahan tingkat energi orbital-orbital pada atom karbon sedemikian rupa sehingga dimungkinkan terjadinya hibridisasi orbital-orbital valensi atom karbon.



**Gambar 2.8**

Orbital  $sp^3$  dari atom C bertumpang tindih dengan orbital s dari atom H.



**Gambar 2.9**

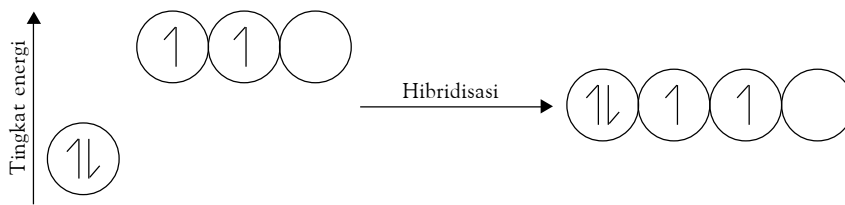
Pada  $\text{PCl}_3$ , elektron dari setiap atom Cl berikatan dengan elektron dari atom P membentuk 3 pasang elektron ikatan.



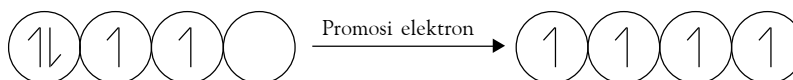
### Catatan Note

Menurut aturan Hund, elektron-elektron yang tidak berpasangan dalam orbital hibrida memiliki arah spin yang sejajar.

Based on Hund rule, unpair electrons in hybrid orbital have parallel spin direction.



Oleh karena orbital-orbital hibrida yang dibentuk memiliki tingkat energi yang sama (di antara 2s dan 2p) maka elektron yang berasal dari orbital 2s dipromosikan ke orbital  $p^3$  yang masih kosong. Orbital hibrida tersebut dinamakan orbital  $sp^3$  karena berasal dari satu orbital-s dan tiga orbital-p.



Dalam proses hibridisasi, berlaku hukum kekekalan orbital. Artinya jumlah orbital sebelum dan sesudah dicampurkan sama. Jadi, hibridisasi satu orbital-s dan tiga orbital-p akan terbentuk empat orbital  $sp^3$ .

### 3. Bentuk Molekul dan Valensi Terarah

Menurut teori ikatan valensi, pada pembentukan ikatan, orbital-orbital hibrida dari atom pusat harus bertumpang tindih dengan orbital atom lain dengan arah tertentu. Pada molekul  $CH_4$ , orbital hibrida  $sp^3$  dari atom karbon akan bertumpang tindih dengan orbital-s dari atom hidrogen membentuk ikatan terlokalisasi  $sp^3-s$  sepanjang sumbu ikatan C-H. Oleh karena ikatan yang terbentuk memiliki orientasi tertentu dalam ruang maka ikatan ini disebut ikatan valensi terarah.

Bentuk molekul yang dibangun oleh  $CH_4$  ditentukan oleh orientasi orbital hibrida  $sp^3$  dalam atom karbon. Dengan kata lain, bentuk molekul ditentukan oleh struktur orbital hibrida pada atom pusat. Mengapa orbital hibrida memiliki struktur?

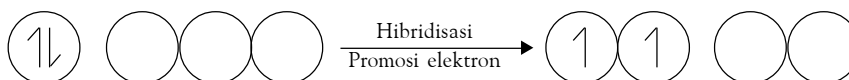
Selain orbital-s, orbital-p dan orbital-d memiliki orientasi tertentu dalam ruang. Orbital-orbital hibrida yang terbentuk dari orbital-orbital atom juga memiliki struktur tertentu di dalam ruang.

Jenis orbital hibrida yang dapat dibentuk dari kombinasi orbital s, p, dan d adalah orbital hibrida  $sp$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$ ,  $dsp^3$ ,  $sp^3d^2$ , atau  $d^2sp^3$ . Orbital-orbital tersebut memiliki orientasi tertentu dalam ruang.

#### a. Struktur Linear

Struktur molekul  $BeH_2$  menurut prediksi teori domain elektron adalah linear. Bagaimana menurut pandangan teori ikatan valensi dengan pendekatan hibridisasinya?

Atom pusat pada molekul  $BeH_2$  adalah berilium dengan konfigurasi elektron  ${}_4Be: 1s^2 2s^2 2p^0$ . Jika dilihat dari konfigurasi elektronnya, atom Be tidak memiliki elektron yang tidak berpasangan. Jadi, tidak mungkin dapat berikatan membentuk molekul, tetapi faktanya atom Be dapat membentuk molekul  $BeH_2$ . Agar atom Be dapat berikatan dengan atom H maka orbital-orbital 2s pada kulit valensi mengadakan hibridisasi dengan orbital 2p yang masih kosong, diikuti promosi elektron dari orbital 2s ke orbital 2p. Hasilnya adalah



### Mahir Menjawab

Berdasarkan tabel berikut :

Senyawa	$M_f$	Titik Didih
$NH_3$	17	-33
$PH_3$	34	-88
$AsH_3$	78	-55
$SbH_3$	125	-17

Molekul  $PH_3$  memiliki titik didih terendah penyebabnya adalah ....

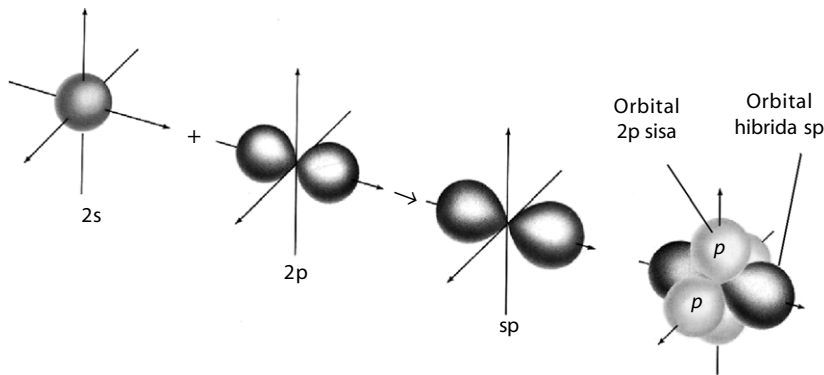
- $M_f$  terkecil
- Molekulnya kecil
- Terdapatnya ikatan hidrogen
- Terdapatnya ikatan gaya London
- Terdapatnya ikatan gaya Van der Waals

#### Pembahasan

Pada molekul  $PH_3$ , terdapat gaya Van der Waals. Ikatan Van der Waals jauh lebih lemah daripada ikatan hidrogen pada molekul  $NH_3$ . Karenanya  $PH_3$  memiliki titik didih terendah (E)

UNAS 2005

Pembentukan orbital hibrida sp dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 2.10**

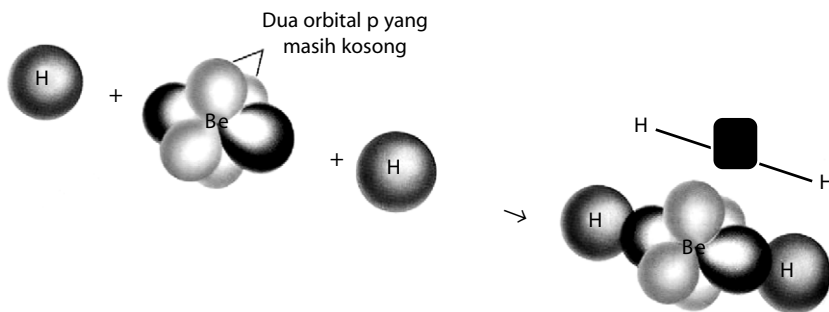
Pembentukan orbital hibrida sp. Hibridisasi orbital atom s dan orbital atom p menghasilkan orbital hibrida sp dengan orientasi ruang membentuk sudut  $180^\circ$ .

Orbital hibrida sp memiliki dua aspek penting, yaitu:

- 1) Setiap orbital menyediakan daerah tumpang tindih yang cukup besar dengan orbital 1s dari atom hidrogen.
- 2) Orbital-orbital tersebut memiliki orientasi  $180^\circ$  satu sama lain.

Dua orbital 2p yang tidak digunakan membentuk orbital hibrida berada pada posisi tegak lurus satu sama lain terhadap sumbu yang dibentuk oleh orbital hibrida sp.

Setiap orbital hibrida sp dalam atom Be bertumpang tindih dengan orbital 1s dari atom H membentuk dua orbital ikatan terlokalisasi yang setara (lihat **Gambar 2.11**). Setiap ikatan Be–H dalam molekul  $\text{BeH}_2$  disebut ikatan- $\sigma$  (sigma) dan struktur molekul yang terbentuk adalah linear.



### Kata Kunci

- Hibridisasi
- Linear
- Orientasi ruang
- Terlokalisasi
- Tumpang tindih

**Gambar 2.11**

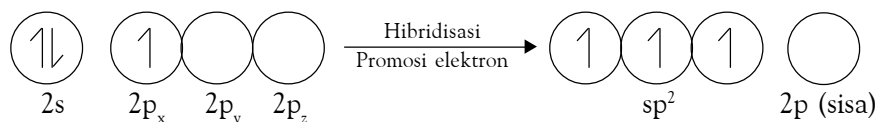
Pembentukan ikatan- $\sigma$  yang terlokalisasi sepanjang sumbu ikatan dalam molekul  $\text{BeH}_2$ .

### b. Struktur Trigonal Planar

Molekul  $\text{BF}_3$  menurut teori domain elektron memiliki bentuk molekul trigonal planar. Bagaimana menurut pandangan teori ikatan valensi berdasarkan pendekatan hibridisasinya?

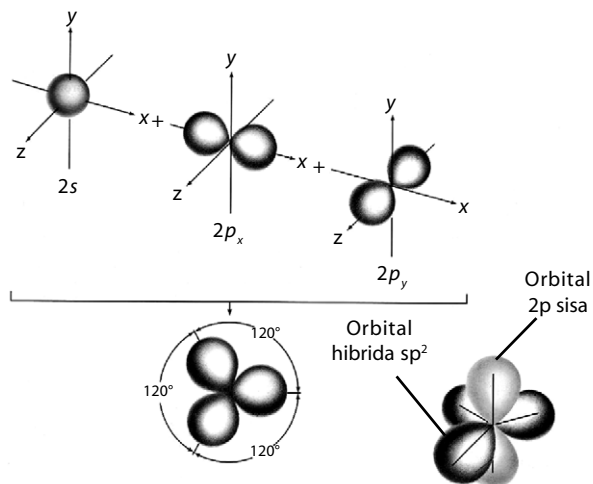
Atom pusat pada molekul  $\text{BF}_3$  adalah boron dengan konfigurasi elektron  ${}_5\text{B}: 1s^2 2s^2 2p^1$ . Jika dilihat dari konfigurasi elektronnya, atom B memiliki satu elektron yang tidak berpasangan. Jadi, hanya satu ikatan yang dapat dibentuk dengan atom F, tetapi faktanya atom B dapat mengikat tiga atom fluorin membentuk molekul  $\text{BF}_3$ .

Agar atom B dapat berikatan dengan tiga atom F maka orbital-orbital 2s pada kulit valensi mengadakan hibridisasi dengan orbital 2p, diikuti promosi elektron dari orbital 2s ke orbital 2p. Hasilnya adalah sebagai berikut.



Pembentukan orbital hibrida  $sp^2$  ditunjukkan pada gambar berikut.

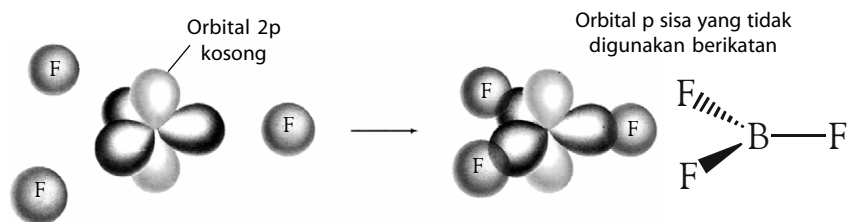
**Gambar 2.12**  
Pembentukan orbital hibrida  $sp^2$ . Hibridisasi satu orbital atom s dan dua orbital atom p membentuk orbital hibrida  $sp^2$  dengan orientasi ruang trigonal planar dengan sudut masing-masing  $120^\circ$ .



Untuk membentuk tiga ikatan yang setara, atom boron harus menyediakan tiga orbital setengah penuh. Hal ini dapat dicapai melalui hibridisasi orbital 2s dan dua orbital 2p membentuk orbital hibrida  $sp^2$ . Oleh karena ketiga orbital setara maka struktur yang terbentuk trigonal planar yang simetri. Masing-masing elektron valensi dalam orbital hibrida  $sp^2$  tidak berpasangan dengan spin sejajar (aturan Hund).

Molekul  $BF_3$  dibentuk melalui tumpang tindih orbital hibrida  $sp^2$  dari boron dan orbital  $2p_z$  dari fluorin membentuk tiga orbital ikatan sigma terlokalisasi. Bentuk molekul  $BF_3$  yang terbentuk adalah trigonal planar, seperti ditunjukkan pada gambar berikut.

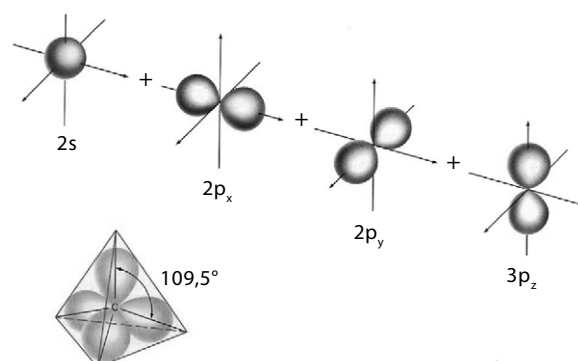
**Gambar 2.13**  
Pembentukan ikatan dalam  $BF_3$ . Setiap ikatan B-F dibentuk dari tumpang tindih antara orbital  $sp^2$  dari boron dan orbital  $2p_z$  dari fluorin. Tiga orbital ikatan B-F terlokalisasi membentuk molekul  $BF_3$  dengan struktur trigonal planar.



### c. Struktur Tetrahedral

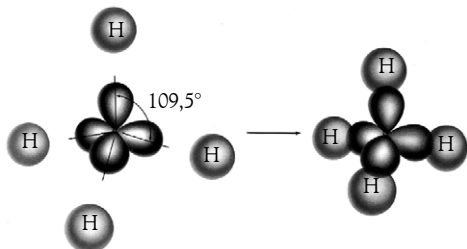
Orbital hibrida  $sp^3$  dapat dibentuk melalui kombinasi orbital s dan tiga orbital p. Orbital  $sp^3$  yang dibentuk ekuivalen dalam ukuran maupun tingkat energinya. Akibatnya, keempat orbital hibrida  $sp^3$  membentuk tetrahedral yang simetris di sekitar atom pusat dan molekul yang dibentuk melalui orbital hibrida  $sp^3$  memiliki struktur tetrahedral. Orientasi orbital hibrida  $sp^3$  ditunjukkan pada **Gambar 2.14** berikut.

**Gambar 2.14**  
Hibridisasi orbital 2s dan tiga orbital 2p membentuk orbital hibrida  $sp^3$ . Keempat orbital hibrida  $sp^3$  setara satu sama lain. Hal ini mendorong geometri elektron pada atom pusat membentuk struktur tetrahedral dengan sudut  $109,5^\circ$ .



Oleh karena keempat orbital setara maka struktur yang terbentuk adalah tetrahedral. Masing-masing elektron valensi dalam orbital hibrida  $sp^3$  tidak berpasangan dengan spin sejajar (aturan Hund).

Molekul  $CH_4$  dibentuk melalui tumpang tindih orbital hibrida  $sp^3$  dari atom C dan orbital  $1s$  dari atom H membentuk empat orbital ikatan sigma terlokalisasi. Bentuk molekul  $CH_4$  adalah tetrahedral, sama seperti struktur orbital hibrida  $sp^3$  (lihat **Gambar 2.15**).

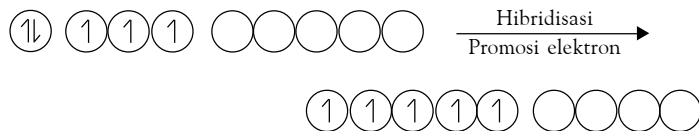


Sebagaimana diramalkan oleh teori domain elektron, bentuk molekul  $CH_4$  tetrahedral dan keempat ikatan C-H setara. Keempat orbital ikatan terlokalisasi dalam  $CH_4$  dibentuk melalui tumpang tindih orbital  $sp^3$  dan orbital  $1s$  dari atom hidrogen.

#### d. Struktur Trigonal Bipiramidal dan Oktahedral

Struktur trigonal bipiramidal dan oktahedral merupakan kasus menarik dalam teori ikatan valensi dengan hibridisasinya. Orbital hibrida yang terbentuk melibatkan orbital-d dan senyawa yang terbentuk tergolong superoktet. Contoh molekul dengan bentuk trigonal bipiramidal adalah  $PCl_5$  dan contoh molekul oktahedral adalah  $SF_6$ .

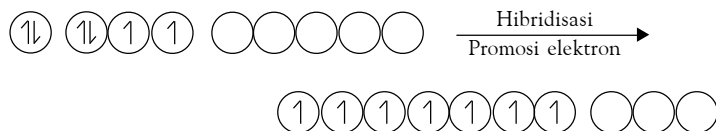
Tinjau molekul  $PCl_5$  dengan atom P sebagai atom pusat. Konfigurasi elektronnya:  $_{15}P: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3 3d^0$ . Hibridisasi satu orbital  $3s$ , tiga orbital  $3p$  dan satu orbital  $3d$  menghasilkan lima orbital hibrida  $sp^3d$  dengan struktur trigonal bipiramidal yang simetris. Kelima orbital hibrida  $sp^3d$  memiliki sifat-sifat menarik sebab ada dua orbital hibrida yang tidak setara.



Orbital-orbital hibrida  $sp^3d$  membentuk dua susunan yang tidak setara. Susunan pertama terdiri atas tiga orbital hibrida ekuilateral yang setara dan susunan kedua terdiri dari dua orbital aksial yang setara. Kelima orbital ikatan P-Cl dibentuk melalui tumpang tindih setiap orbital hibrida  $sp^3d$  dengan orbital  $3p$  dari atom klorin. Sepuluh elektron valensi menghuni lima orbital ikatan sigma terlokalisasi membentuk lima ikatan kovalen terlokalisasi.

Pada struktur oktahedral diperlukan enam orbital dengan elektron tidak berpasangan. Keenam orbital tersebut dibentuk melalui hibridisasi 1 orbital  $s$ , 3 orbital  $p$ , dan 2 orbital  $d$  membentuk orbital hibrida  $sp^3d^2$ .

Pada molekul  $SF_6$ , orbital pada kulit valensi atom S mengadakan hibridisasi membentuk orbital hibrida  $sp^3d^2$  dengan struktur oktahedral.



**Gambar 2.15**

Empat orbital ikatan terlokalisasi dalam  $CH_4$  dibentuk melalui tumpang tindih orbital hibrida  $sp^3$  pada atom C dan  $1s$  dari atom H.



#### Mahir Menjawab

Jumlah pasangan terikat atom pusat suatu molekul senyawa = 3, sedangkan pasangan elektron bebasnya = 0. Bentuk molekulnya adalah ....

- B. Oktahedral
- B. Trigonal planar
- C. Tetrahedral
- A. Trigonal bipiramidal
- E. Linear

#### Pembahasan

Molekul yang stabil memiliki tolakan minimum antarpasangan elektronnya. Atom pusat dengan 3 pasang elektron terikat dan tanpa pasangan elektron bebas, memiliki tolakan minimum dalam bentuk geometri segitiga sama sisi. Jadi, jawabannya (B)

Ebtanas 1995

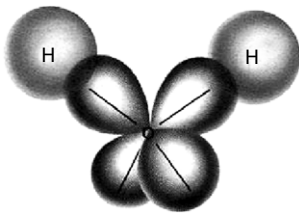


Keenam orbital  $sp^3d^2$  bertumpang tindih dengan orbital  $2p$  dari atom fluorin membentuk enam ikatan S–F terlokalisasi yang setara dengan struktur oktahedral.

### Kegiatan Inkuiri



1. Gambarkan proses pembentukan orbital-orbital  $sp^3d$  pada atom fosfor. Gambarkan juga pembentukan ikatan valensi antara orbital  $sp^3d$  dengan  $3p$  dari atom klorin.
2. Gambarkan proses pembentukan orbital-orbital  $sp^3d^2$  pada atom belerang. Gambarkan juga pembentukan ikatan valensi antara orbital  $sp^3d^2$  dengan  $2p$  dari atom fluorin.



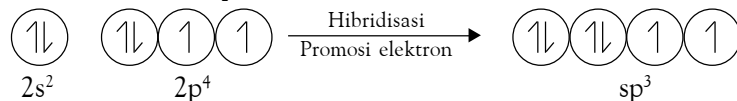
**Gambar 2.16**

Struktur orbital hibrida  $sp^3$  pada atom oksigen dalam  $H_2O$ . Dua orbital ikatan O–H dibentuk melalui tumpang tindih dua orbital  $sp^3$  dari atom O dan orbital  $1s$  dari atom H membentuk ikatan sigma terlokalisasi. Dua orbital  $sp^3$  lainnya dihuni oleh dua pasang elektron bebas.

## 4. Hibridisasi dalam Molekul yang Memiliki Pasangan Elektron Bebas

Bagaimanakah hibridisasi dalam molekul yang memiliki pasangan elektron bebas pada atom pusatnya, misalnya  $H_2O$  dan  $NH_3$ . Hal ini dapat dijelaskan dengan orbital hibrida  $sp^3$  pada atom pusatnya.

Tinjau molekul  $H_2O$  dengan atom O sebagai atom pusat:



Dua orbital ikatan dalam molekul  $H_2O$  dapat dipandang sebagai tumpang tindih orbital  $1s$  dari atom H dan satu orbital  $sp^3$  dari atom O membentuk dua orbital ikatan sigma O–H. Bentuk struktur orbital hibrida  $sp^3$  yang terjadi dalam molekul  $H_2O$  dapat diperhatikan pada **Gambar 2.16**.

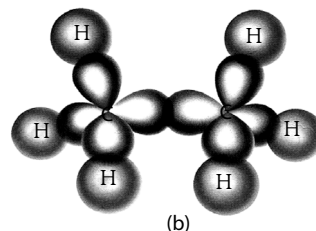
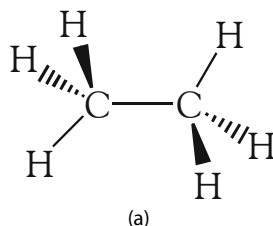
Terdapat delapan elektron valensi dalam molekul  $H_2O$ , enam dari atom O dan dua dari atom H. Empat elektron valensi menghuni dua orbital ikatan sigma O–H. Empat elektron lainnya menghuni dua orbital  $sp^3$  yang tidak berikatan dan membentuk dua pasang elektron bebas pada atom oksigen.

Menurut teori domain elektron, sudut ikatan H–O–H dalam molekul  $H_2O$  lebih kecil dari sudut tetrahedral murni sebab pasangan elektron bebas menolak lebih kuat terhadap pasangan elektron ikatan sehingga terjadi distorsi bentuk molekul dari tetrahedral murni. Jadi, jelas bahwa dalam molekul  $H_2O$  terjadi hibridisasi  $sp^3$  pada atom oksigen.

## 5. Hibridisasi dalam Senyawa Hidrokarbon

Apakah hibridisasi terjadi pada senyawa karbon, khususnya ikatan pada karbon-karbon? Tinjau molekul etana ( $C_2H_6$ ) dengan struktur molekul ditunjukkan berikut.

**Gambar 2.17**  
(a) Struktur molekul etana  
(b) Struktur orbital pada molekul etana.



Bentuk molekul etana dapat dijelaskan dengan orbital hibrida  $sp^3$  pada kedua atom karbon. Ikatan C–C dibentuk melalui tumpang tindih antara orbital  $sp^3$  dan orbital  $sp^3$  dari masing-masing atom karbon. Enam ikatan C–H dibentuk melalui tumpang tindih orbital  $sp^3$  sisa dan orbital 1s dari atom H. Struktur orbital pada molekul etana ditunjukkan pada Gambar 2.17b.

Ikatan yang terbentuk antara karbon-karbon maupun karbon-hidrogen adalah ikatan sigma yang terlokalisasi. Sehingga, akibat dari ikatan sigma yang terlokalisasi tersebut akan membentuk struktur tetrahedral murni.

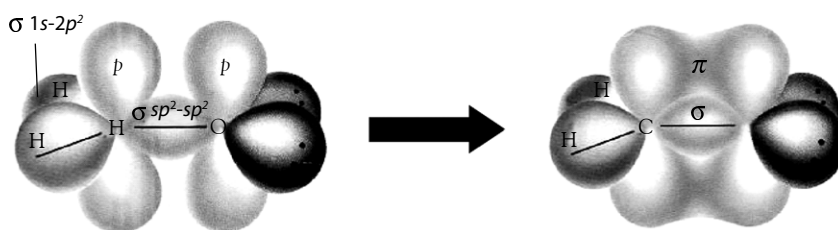
### a. Hibridisasi dalam Ikatan Rangkap Dua

Salah satu molekul paling sederhana yang mengandung ikatan rangkap dua karbon-karbon adalah etena ( $C_2H_4$ ). Atom-atom pada etena terletak pada satu bidang datar dan masing-masing atom karbon berikatan dengan dua atom lain membentuk struktur trigonal planar.

Oleh karena masing-masing atom karbon membentuk trigonal planar, hal ini menandakan terbentuknya orbital hibrida  $sp^2$  pada setiap atom karbon. Oleh karena itu, ikatan dalam etena dapat dijelaskan dengan orbital hibrida  $sp^2$ . Setiap atom karbon masing-masing mengikat dua atom hidrogen melalui tumpang tindih orbital hibrida  $sp^2$  dan orbital 1s. Ikatan yang dibentuk semuanya berikatan sigma.

Ikatan antara karbon-karbon ada dua macam. Pertama orbital  $sp^2$  dari masing-masing atom karbon bertumpang tindih membentuk ikatan sigma C–C, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18.

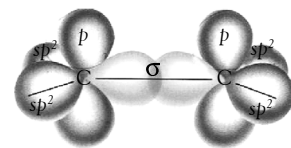
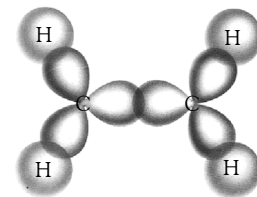
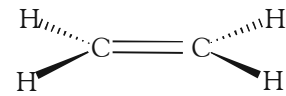
Pada masing-masing atom karbon masih tersisa satu orbital hibrida  $sp^2$  yang belum digunakan berikatan dengan orientasi tegak lurus terhadap bidang H–C–H. Kedua orbital hibrida  $sp^2$  ini, kemudian bertumpang tindih lagi membentuk ikatan kedua. Ikatan ini dinamakan ikatan pi ( $\pi$ ). Jadi, ikatan rangkap dalam etilen dibangun oleh ikatan sigma dan ikatan pi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19 berikut.



### b. Hibridisasi dalam Ikatan Rangkap Tiga

Senyawa karbon yang mengandung ikatan rangkap tiga cukup banyak. Salah satu contoh yang paling sederhana adalah etuna ( $C_2H_2$ ) atau disebut asetilen. Menurut teori domain elektron, bentuk molekul asetilen adalah linear. Oleh karena itu, orbital-orbital dalam atom karbon membentuk orbital hibrida  $sp$ .

Untuk memahami ikatan dalam molekul asetilen dapat dijelaskan dalam dua tahap. Pertama terjadi tumpang tindih dua orbital  $sp$  dari masing-masing atom karbon untuk membentuk orbital ikatan sigma C–C, kemudian orbital hibrida  $sp$  yang satunya lagi bertumpang tindih dengan orbital 1s dari atom hidrogen membentuk dua ikatan sigma C–H, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.20 berikut.



**Gambar 2.18**

Tumpang tindih orbital hibrida  $sp^2-sp^2$  membentuk ikatan- $\sigma$  karbon-karbon.

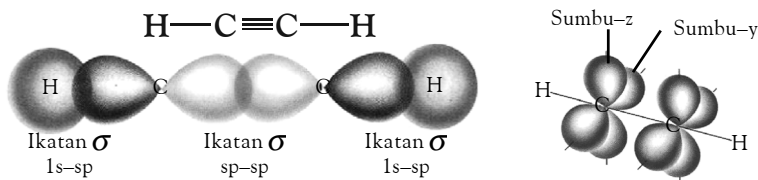
**Gambar 2.19**

Pembentukan ikatan rangkap dua antara C dan C pada etena Ikatan  $\sigma$  berada dipusat sumbu ikatan, sedangkan ikatan  $\pi$  berada di atas dan di bawah sumbu ikatan, keduanya membentuk ikatan rangkap dua.

## Kata Kunci

- Ikatan pi
- Ikatan sigma
- Terdelokalisasi

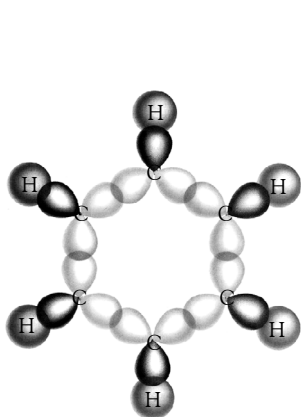
**Gambar 2.20**  
 Kerangka ikatan dalam asetilen.  
 Orbital ikatan C–C hasil dari tumpang tindih dua orbital hibrida sp. Dua orbital ikatan C–H hasil dari tumpang tindih orbital sp dan 1s dari hidrogen.



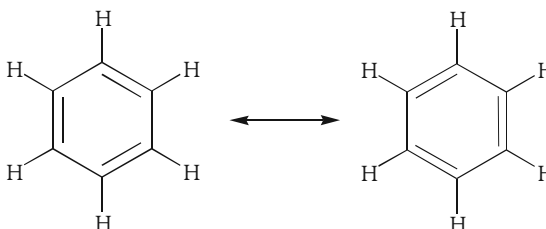
Dua orbital 2p sisa pada masing-masing atom karbon saling tegak lurus terhadap sumbu H–C≡C–H, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.20**. Kedua orbital ini dapat bertumpang tindih membentuk dua orbital ikatan pi. Jadi, dalam molekul asetilen ada lima ikatan, tiga ikatan sigma dan dua ikatan pi.

### c. Hibridisasi dalam Molekul Benzena

Terdapat sejumlah molekul yang memiliki ikatan  $\pi$ . Salah satu contoh yang penting adalah molekul benzena ( $C_6H_6$ ). Molekul benzena secara prinsip memiliki dua bentuk resonansi yang dapat diungkapkan dalam bentuk hibrida resonansi, yaitu:



**Gambar 2.21**  
 Tumpang tindih orbital hibrida  $sp^2$ – $sp^2$  dalam molekul benzena membentuk ikatan sigma.

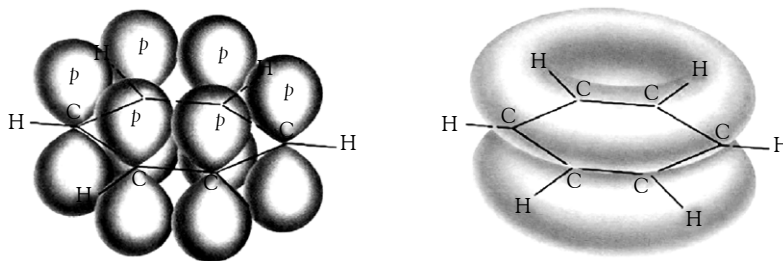


Bentuk molekul benzena adalah heksagonal datar, sedangkan struktur pada setiap atom karbon dalam benzena adalah trigonal planar dengan sudut ikatan  $120^\circ$  maka dapat diduga bahwa hibridisasi yang terjadi pada atom karbon adalah  $sp^2$ .

Orbital hibrida  $sp^2$  yang pertama digunakan berikatan dengan orbital 1s dari atom hidrogen. Dua orbital hibrida  $sp^2$  yang lain digunakan untuk berikatan dengan orbital  $sp^2$  dari atom-atom karbon yang berdampingan. Semua ikatan yang dibentuk adalah ikatan sigma, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.21**.

Setiap atom karbon memiliki orbital 2p sisa yang tegak lurus terhadap bidang heksagonal, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.22**. Keenam orbital 2p tersebut bertumpang tindih membentuk tiga ikatan pi. Ikatan pi ini tidak diasosiasikan dengan setiap pasang atom karbon tertentu melainkan orbital-orbital tersebut membentuk **orbital terdelokalisasi**.

**Gambar 2.22**  
 Tumpang tindih orbital 2p yang tidak digunakan dalam hibridisasi membentuk ikatan phi (ikatan phi dalam benzena menjadikan elektron-elektron terdelokalisasi dalam molekul benzena).



Terdapat tiga puluh elektron valensi dalam senyawa benzena. Sebanyak 24 elektron valensi menghuni 12 orbital ikatan sigma dan 6 elektron valensi menghuni 3 orbital ikatan pi menghasilkan kerapatan muatan elektron total, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.22**.

## Tes Kompetensi Subbab C

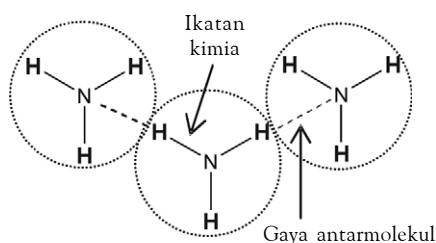
Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Jelaskan kembali apa yang dimaksud dengan hibridisasi orbital-orbital atom? Apakah yang dimaksud dengan promosi elektron?
2. Apakah yang dimaksud dengan orbital hibrida  $sp^3$ ? Bagaimanakah tingkat energi orbital  $sp^3$  dibandingkan dengan tingkat energi orbital-s dan orbital-p pembentuk  $sp^3$ ?
3. Jelaskan proses hibridisasi yang terjadi pada atom pusat P dalam molekul  $PCl_3$  dan gambarkan struktur orbital hibrida yang terbentuk. Gambarkan juga pembentukan ikatan dalam molekul  $PCl_3$  antara orbital hibrida dan orbital klorin.
4. Mengapa pembentukan orbital hibrida pada atom fosfor dan belerang tidak melibatkan orbital 4s, tetapi melibatkan orbital 3d? Jelaskan.
5. Mengapa atom fosfor dapat membentuk molekul  $PCl_3$ , sedangkan atom nitrogen tidak dapat membentuk  $NH_3$  atau  $NCl_3$ , padahal keduanya berada dalam golongan yang sama? Jelaskan berdasarkan pendekatan hibridisasi.
6. Jelaskan proses hibridisasi pada atom xenon dalam molekul  $XeF_6$ . Orbital hibrida apakah yang terbentuk?
7. Jelaskan proses hibridisasi yang terjadi dalam molekul HCN. Gambarkan struktur orbital dalam molekul tersebut.

## D. Gaya Antarmolekul

Gaya antarmolekul adalah gaya aksi di antara molekul-molekul yang menimbulkan tarikan antarmolekul dengan berbagai tingkat kekuatan. Pada suhu tertentu, kekuatan tarikan antarmolekul menentukan wujud zat, yaitu gas, cair, atau padat.

Kekuatan gaya antarmolekul lebih lemah dibandingkan ikatan kovalen maupun ikatan ion. Ikatan kimia dan gaya antarmolekul memiliki perbedaan. Ikatan kimia merupakan gaya tarik menarik di antara atom-atom yang berikatan, sedangkan gaya antarmolekul merupakan gaya tarik menarik di antara molekul (perhatikan **Gambar 2.23**).



**Gambar 2.23**

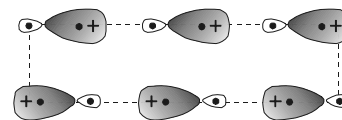
Gaya antarmolekul adalah gaya yang lebih lemah dibandingkan ikatan kimia.

Ada tiga jenis gaya antarmolekul, yaitu gaya dipol-dipol, gaya London, dan ikatan hidrogen. Gaya dipol-dipol dan gaya London dapat dianggap sebagai satu jenis gaya, yaitu gaya van der Waals.

### 1. Gaya Dipol-Dipol

Gaya dipol-dipol adalah gaya yang terjadi di antara molekul-molekul yang memiliki sebaran muatan tidak homogen, yakni molekul-molekul dipol atau molekul polar. Molekul-molekul polar memiliki dua kutub muatan yang berlawanan. Oleh karena itu, di antara molekul-molekulnya akan terjadi antaraksi yang disebabkan kedua kutub muatan yang dimilikinya.

Pada antaraksi dipol-dipol, ujung-ujung parsial positif suatu molekul mengadakan tarikan dengan ujung-ujung parsial negatif dari molekul lain yang mengakibatkan orientasi molekul-molekul sejajar, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.24**.



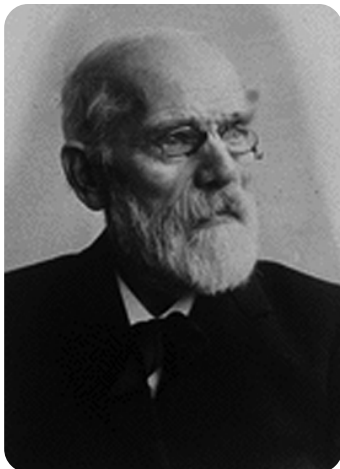
**Gambar 2.24**

Gaya dipol-dipol permanen



## Sekilas Kimia

**Johannes Diderik van der Waals**  
(1837–1923)



Sumber: <http://nobelprize.org>

Johannes Diderik van der Waals adalah seorang ilmuwan berkebangsaan Belanda yang lahir pada 23 November 1837 di Layden. Salah satu penemuannya adalah mengenai gaya antarmolekul yang sekarang dikenal sebagai gaya van der Waals. Konsep mengenai gaya antarmolekul ini diajukannya ketika ia meneliti keberadaan suhu kritis pada gas.

Pada waktu senggangnya van der Waals menghabiskan waktu dengan membaca dan berjalan-jalan. Dia meninggal pada 8 Maret 1923 di Amsterdam.

Sumber: <http://nobelprize.org>

Tarikan dipol-dipol memengaruhi sifat-sifat fisik senyawa, seperti titik leleh, kalor peleburan, titik didih, kalor penguapan, dan sifat fisik lainnya. **Tabel 2.2** menunjukkan perbandingan sifat-sifat senyawa untuk massa molekul yang relatif sama dengan berbagai gaya antarmolekul.

**Tabel 2.2** Sifat Fisika Molekul Hidrida Periode ke-4

Sifat-Sifat Fisika	SiH <sub>4</sub>	PH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S
Kepolaran	Nonpolar	Polar	Polar
Wujud	Gas	Gas	Gas
Massa molekul	32,09	34,0	34,08
Titik leleh (°C)	-185	-134	-85,6
Titik didih (°C)	-111	-87,8	-60,8
Kalor lebur (kJ mol <sup>-1</sup> )	0,66	1,13	2,38
Kalor uap (kJ mol <sup>-1</sup> )	13	14,6	18,7
Momen dipol	0	0,55	1,10

Sumber: *Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis*, 1989

Simak sifat-sifat fisika SiH<sub>4</sub>, PH<sub>3</sub>, dan H<sub>2</sub>S pada **Tabel 2.2** tersebut. Senyawa-senyawa tersebut memiliki massa molekul relatif yang sama. Molekul SiH<sub>4</sub> bersifat nonpolar, memiliki titik leleh dan titik didih paling tinggi serta kalor peleburan dan kalor penguapan juga rendah. Molekul H<sub>2</sub>S memiliki momen dipol dua kali dari PH<sub>3</sub> dan sesuai ramalan bahwa sifat-sifat fisika H<sub>2</sub>S lebih tinggi PH<sub>3</sub> dan SiH<sub>4</sub>.

Mengapa molekul polar memiliki sifat-sifat fisika yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan molekul nonpolar untuk massa yang tidak berbeda jauh? Sebagai contoh, tinjau titik didih. Titik didih berhubungan dengan energi yang diperlukan untuk memutuskan gaya antaraksi antarmolekul (bukan memutuskan ikatan kimia antaratom). Semakin kuat gaya antaraksi antarmolekul, semakin besar energi yang diperlukan untuk memutuskanannya. Dengan kata lain, semakin tinggi titik didihnya. Hal ini menunjukkan bahwa dalam molekul polar terjadi gaya antaraksi yang relatif lebih kuat dibandingkan dalam molekul nonpolar.

### Kegiatan Inkuiri



1. Simpulkan dengan kalimat Anda sendiri hubungan kepolaran molekul dengan sifat-sifat fisika yang ditimbulkannya.
2. Diskusikan dengan teman Anda, apa yang dimaksud momen dipol?
3. Diskusikan dengan teman Anda, bagaimana menjelaskan kalor penguapan dan kalor peleburan molekul polar lebih tinggi dari molekul nonpolar?

## 2. Gaya London

Gaya London adalah gaya yang terjadi pada atom atau molekul, baik polar maupun nonpolar. Gaya London atau disebut juga gaya dispersi, yaitu gaya yang timbul akibat dari pergeseran sementara (dipol sementara) muatan elektron dalam molekul homogen. Dalam ungkapan lain, dapat dikatakan bahwa gaya London terjadi akibat kebolehpolaran atau distorsi "awan elektron" dari suatu molekul membentuk dipol sementara (molekul polar bersifat dipol permanen).

Mengapa awan elektron dapat terdistorsi? Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

- a. Pada sekumpulan besar molekul, setiap saat selalu terjadi tumbukan antarmolekul, tumbukan ini menimbulkan dipol sementara membentuk

muatan parsial positif pada salah satu ujung molekul dan muatan parsial negatif pada ujung yang lain (terdistorsi).

- Molekul-molekul yang terdistorsi selanjutnya menginduksi molekul lain membentuk dipol terinduksi.
- Akibat terbentuk dipol sementara pada sejumlah molekul yang bertumbukan dan menginduksi sejumlah molekul lain membentuk dipol terinduksi, menimbulkan gaya tarik-menarik di antara molekul-molekul tersebut. Gaya tarik-menarik seperti ini dinamakan gaya London.
- Gejala tersebut berlangsung secara terus menerus dan berimbas kepada molekul-molekul lain sehingga terjadi gaya London di antara molekul-molekul yang ada.

Dengan demikian, gaya London adalah gaya antaraksi antaratom atau molekul yang memiliki dipol sementara dengan jarak yang sangat berdekatan satu sama lain. Kekuatan gaya London dipengaruhi oleh ukuran, bentuk molekul, dan kemudahan distorsi dari awan elektron.

Sentuhan di antara atom atau molekul dengan luas permukaan sentuhan besar menghasilkan peluang lebih besar membentuk dipol sementara dibandingkan bidang sentuh yang relatif kecil. Semakin besar luas permukaan bidang sentuh molekul, semakin besar peluang terjadinya dipol sementara.

Bagaimanakah bentuk molekul yang memiliki peluang lebih besar terjadi gaya London? Untuk menjawab pertanyaan ini, simak **Tabel 2.3** berikut yang menyajikan hubungan bentuk molekul dan peluang terjadinya gaya London.

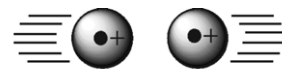
**Tabel 2.3** Titik Didih Beberapa Senyawa Nonpolar

Keadaan	Nama Senyawa	Rumus Struktur	Titik Didih (°C)
Massa molekul sama, bentuk molekul yang sferik (bulat) menurun	Neopentana	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	9,5
	Isopentana	$\begin{array}{c} \text{H}_2 \\   \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	28
	n-pentana	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	36
Bentuk molekul serupa, massa molekul meningkat	Metana	$\text{CH}_4$	-161
	Etana	$\text{CH}_3\text{CH}_3$	-88,6
	n-propana	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	-44,5
	n-butana	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	-0,5

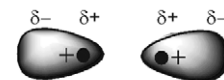
Sumber: *Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis*, 1989

Apakah yang dapat Anda simpulkan dari data tersebut? Perhatikan tingkat sferitas molekul. Oleh karena neopentana lebih sferik dari molekul yang lain maka bidang sentuhnya paling kecil sehingga peluang terciptanya gaya London relatif kecil. Akibatnya, gaya tarik antarmolekul lemah. Hal ini ditunjukkan oleh titik didih yang relatif rendah.

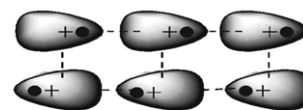
Di antara bentuk molekul yang serupa, gaya London meningkat dengan bertambahnya jumlah elektron atau dengan bertambahnya massa molekul. Butana memiliki jumlah elektron lebih rumit dibandingkan molekul lain sehingga gaya Londonnya lebih besar. Ini ditunjukkan oleh titik didihnya yang paling tinggi.



Molekul-molekul bertumbukan (dapat disebabkan oleh suhu atau tekanan tinggi)



Molekul-molekul terdistorsi membentuk dipol sementara (kulit valensi elektron terdistorsi ke arah yang berlawanan dengan muka yang bertumbukan)

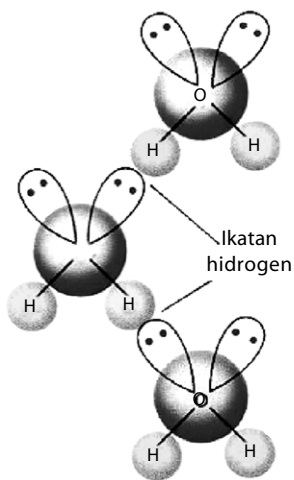


Molekul-molekul lain terinduksi membentuk dipol terinduksi (Adanya dipol sementara dan dipol terinduksi menimbulkan gaya antaraksi di antara molekul-molekul)

### Kata Kunci

- Antaraksi
- Awan elektron
- Bertumbukan
- Dipol
- Distorsi
- Gaya London
- Gaya van der Waals
- Ikatan hidrogen
- Menginduksi





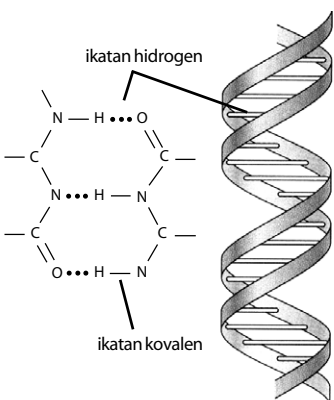
**Gambar 2.25**  
Antaraksi antarmolekul air



## Sekilas Kimia

### Ikatan Hidrogen pada DNA

DNA, pembawa informasi genetika (memungkinkan informasi genetika terwariskan) adalah molekul yang berukuran sangat besar, terdiri atas dua utas rantai yang saling berhadapan membentuk rantai ganda berpilin. Rantai ganda berpilin ini terbentuk karena adanya ikatan hidrogen antara kedua utas rantai penyusun DNA. Oleh karena kekuatan ikatan hidrogen lebih kecil dari ikatan kovalen atom-atom penyusun rantai maka kedua utas rantai DNA dapat dipisahkan dan mengalami replikasi (penggandaan DNA).



Sumber: *Introductory Chemistry*, 1997

## 3. Ikatan Hidrogen

Senyawa yang mengandung atom hidrogen dan atom yang memiliki keelektronegatifan tinggi, seperti fluorin, klorin, nitrogen, dan oksigen dapat membentuk senyawa polar, mengapa? Pada molekul polar, pasangan elektron ikatan yang digunakan bersama lebih tertarik ke arah atom dengan keelektronegatifan tinggi. Akibatnya, atom hidrogen menjadi lebih bermuatan positif. Akibat dari gejala tersebut, atom hidrogen dalam molekul polar seolah-olah berada di antara atom-atom elektronegatif.

Apa yang akan terjadi jika atom hidrogen yang bermuatan parsial positif berinteraksi dengan atom-atom pada molekul lain yang memiliki muatan parsial negatif dan memiliki pasangan elektron bebas. Anda pasti menduga akan terjadi interaksi di antara molekul-molekul tersebut sebab molekulnya polar.

Jika hanya interaksi akibat kepolaran maka molekul  $H_2S$  dan  $H_2O$  memiliki sifat fisik yang relatif sama sebab keduanya polar. Akan tetapi, fakta menunjukkan bahwa pada suhu kamar,  $H_2O$  berwujud cair dan  $H_2S$  berwujud gas. Apa yang salah dengan konsep kepolaran? Konsep kepolaran tidak salah, tetapi ada faktor lain selain kepolaran. Berdasarkan hasil pengamatan, dalam senyawa-senyawa polar yang mengandung atom hidrogen ada interaksi yang lebih kuat dibandingkan interaksi dipol maupun gaya London. Interaksi ini dinamakan ikatan hidrogen (perhatikan **Gambar 2.25**).

Ikatan hidrogen terbentuk pada senyawa-senyawa polar yang mengandung atom H dan atom yang memiliki keelektronegatifan tinggi, seperti F, O, N, dan Cl. Atom-atom yang memiliki keelektronegatifan tinggi akan menarik pasangan elektron ikatan lebih kuat sehingga kulit valensi elektron pada atom hidrogen seperti terkelupas, dan inti atom hidrogen yang bermuatan positif seolah-olah berada di permukaan molekul.

Semakin tinggi skala keelektronegatifan atom yang mengikat atom hidrogen, semakin besar peluangnya untuk membentuk ikatan hidrogen.

Contoh:

Belerang dan oksigen memiliki keelektronegatifan  $S = 2,5$  dan  $O = 3,5$ . Oleh karena keelektronegatifan atom oksigen lebih tinggi maka peluang terjadinya ikatan hidrogen sangat besar. Hal ini terbukti dengan tingginya titik leleh dan titik didih  $H_2O$  dibandingkan  $H_2S$ .

Dengan hadirnya ikatan hidrogen dalam suatu senyawa menimbulkan pengaruh terhadap sifat-sifat fisik senyawa tersebut, seperti ditunjukkan oleh senyawa hidrida nonlogam pada **Tabel 2.4**.

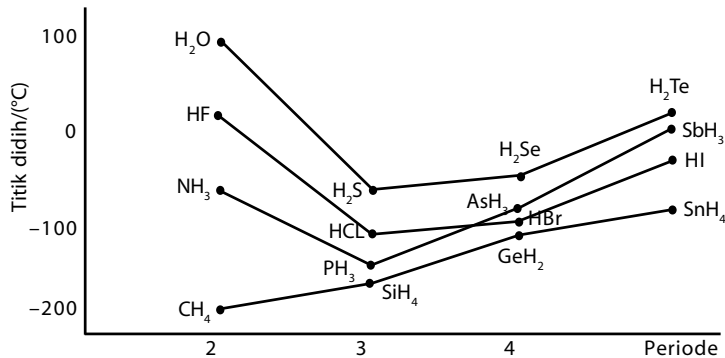
**Tabel 2.4** Sifat Fisik Senyawa Hidrida Nonlogam

Sifat-Sifat	$NH_3$	$PH_3$	$H_2O$	$H_2S$	HF	HCl
Kepolaran	Polar	Polar	Polar	Polar	Polar	Polar
Wujud	Gas	Gas	Cair	Gas	Asap	Gas
Massa molekul	17,03	34,0	18,02	34,08	20,01	36,46
Titik leleh $^{\circ}C$	-78	-134	0,0	-85,6	-83,0	-114
Titik didih $^{\circ}C$	-33	-87,8	100,0	-60,8	19,5	-84,9
Kalor lebur( $kJ\ mol^{-1}$ )	5,52	1,13	6,02	2,38	4,56	1,99
Kalor uap( $kJ\ mol^{-1}$ )	23,3	14,6	40,7	18,7	25,6	16,1

Sumber: *Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis*, 1989

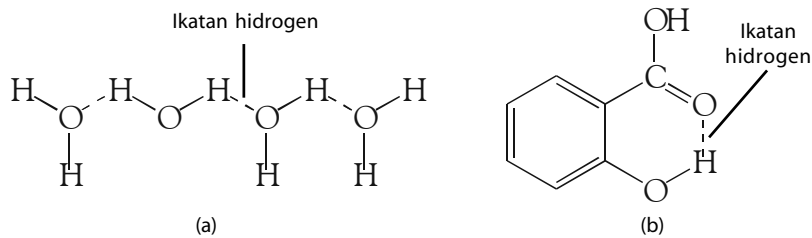
**Tabel 2.5** menunjukkan sifat-sifat fisik senyawa hidrida periode ke-2 dan periode ke-3 dalam tabel periodik. Periode ke-2, yaitu  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{HF}$ , sedangkan periode ke-3, yaitu  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{HCl}$ . Pasangan seperti  $\text{NH}_3\text{-PH}_3$ ;  $\text{H}_2\text{O-H}_2\text{S}$ ; dan  $\text{HF-HCl}$  berasal dari golongan yang sama dalam tabel periodik. Dari pasangan tersebut,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{HF}$  memiliki massa molekul lebih kecil, tetapi memiliki titik leleh dan titik didih lebih tinggi dibandingkan senyawa yang segolongan (lihat grafik pada **Gambar 2.26**).

Hal ini menunjukkan adanya ikatan hidrogen pada molekul  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{HF}$ , sedangkan pada molekul hidrida di bawahnya tidak terjadi ikatan hidrogen.



**Gambar 2.26**  
Kurva titik didih senyawa hidrida nonlogam

Ada dua macam ikatan hidrogen, yaitu ikatan hidrogen antarmolekul (*intermolekul*) dan ikatan hidrogen dalam molekul itu sendiri (*intramolekul*) (perhatikan **Gambar 2.27**). Ikatan hidrogen antarmolekul adalah ikatan antara dua atau lebih molekul, baik molekul yang sama maupun molekul berbeda. Misalnya, antarmolekul  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ,  $\text{HF}$ , atau  $\text{SiF}_4$ . Ikatan hidrogen dalam molekul adalah ikatan antara dua gugus atom dalam suatu molekul, misalnya dalam asam benzoat.



**Gambar 2.27**  
(a) Ikatan hidrogen dapat berupa ikatan antarmolekul  
(b) Ikatan hidrogen dalam molekul

## Contoh 2.4

### Gaya Antarmolekul

Di antara senyawa berikut, manakah yang berpotensi memiliki ikatan hidrogen?

- $\text{HBr}$
- $\text{CH}_4$
- $\text{CH}_3\text{COOH}$
- $\text{CH}_3\text{OH}$

**Jawab:**

Syarat utama adanya ikatan hidrogen bahwa senyawa harus mengandung atom hidrogen. Kedua, atom yang mengikat hidrogen memiliki keelektronegatifan tinggi. Semua senyawa yang ditanyakan mengandung atom hidrogen, tetapi di antara senyawa itu, yang memiliki keelektronegatifan paling tinggi adalah O. Dengan demikian, senyawa yang berpotensi memiliki ikatan hidrogen adalah  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dan  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Ikatan hidrogen yang terjadi adalah antarmolekul (*intermolekular*).

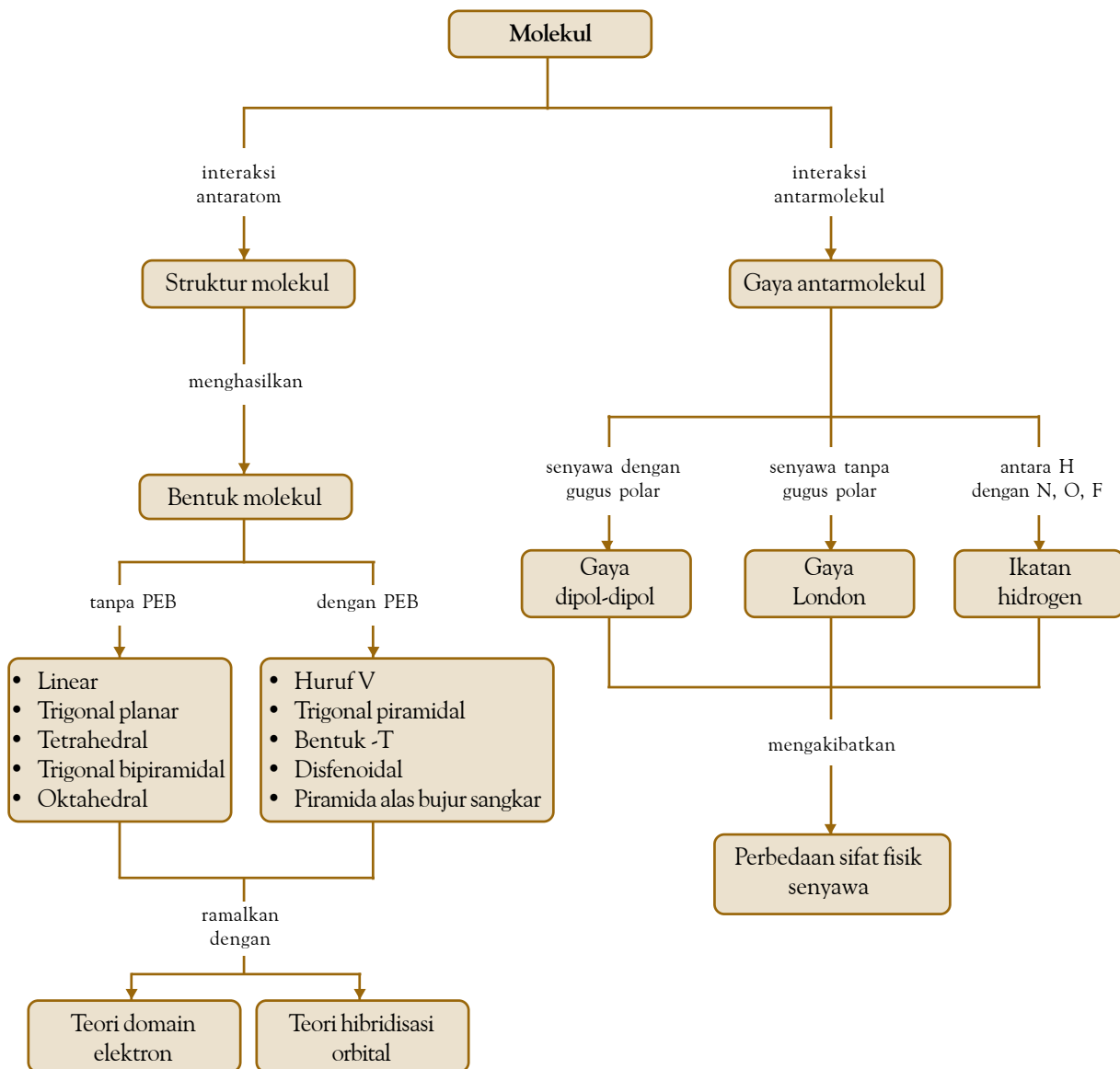
## Tes Kompetensi Subbab D

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Molekul  $\text{PCl}_3$  bersifat nonpolar, sedangkan  $\text{SOCl}_2$  bersifat polar. Perkirakan titik leleh dan titik didih kedua senyawa tersebut? Manakah yang diharapkan lebih tinggi?
2. Apakah yang dimaksud gaya London? Jelaskan terciptanya gaya ini pada proses pencairan gas helium?
3. Semua molekul nonpolar dengan bentuk simetris seperti gas  $\text{O}_2$  dan  $\text{N}_2$  dapat dicairkan pada suhu titik embunnya. Bagaimana hal ini dapat terjadi?
4. Gas butana dalam bensin gas tampak berwujud cair. Ketika bensin gas dibuka, butana keluar dalam wujud gas, mengapa?
5. Definisikan dengan kalimat Anda sendiri, apakah yang dimaksud ikatan hidrogen?
6. Senyawa apa sajakah yang berpotensi membentuk ikatan hidrogen?
7. Molekul  $\text{CH}_4$  dan  $\text{SiH}_4$  mengandung atom hidrogen. Apakah terdapat ikatan hidrogen pada molekul tersebut? Jelaskan.

## Rangkuman

1. Bentuk molekul ditentukan oleh jumlah ikatan setiap atom dan sudut ikatan di antara atom-atom.
2. Ada tujuh macam bentuk dasar molekul, yaitu linear, trigonal planar, bujur sangkar, tetrahedral, limas segitiga, trigonal bipiramidal, dan oktahedral.
3. Teori domain elektron dapat dipakai untuk memramalkan bentuk molekul berdasarkan pada tolakan antara pasangan elektron dalam kulit valensi atom pusat.
4. Jika dalam atom pusat terdapat pasangan elektron bebas sebanyak satu atau lebih, bentuk molekul yang dihasilkan dapat berubah dari bentuk dasarnya sebab pasangan elektron bebas memiliki kekuatan tolakan lebih kuat pasangan elektron lain.
5. Urutan kekuatan tolakan di antara pasangan elektron, yaitu  $\text{PEB-PEB} > \text{PEB-PEI} > \text{PEI-PEI}$
6. Teori ikatan valensi dapat digunakan untuk mengevaluasi bentuk molekul berdasarkan pendekatan hibridisasi orbital atom.
7. Hibridisasi adalah pencampuran (kombinasi) orbital-orbital atom membentuk orbital hibrida dengan tingkat energi berada di antara orbital-orbital atom yang dihibridisasikannya.
8. Jenis hibridisasi pada kulit valensi atom pusat dapat ditentukan dari bentuk molekul. Hibridisasi  $sp$  terjadi pada molekul linear,  $sp^2$  pada molekul trigonal planar,  $sp^3$  pada molekul tetrahedral,  $dsp^3$  pada molekul dwilimas segitiga, dan  $d^2sp^3$  pada molekul tetrahedral.
9. Ikatan yang terjadi di antara orbital hibrida dengan orbital atom maupun orbital hibrida yang lain dinamakan ikatan sigma. Orbital atom yang tidak digunakan dalam hibridisasi jika digunakan untuk berikatan akan membentuk ikatan pi.
10. Wujud suatu materi, seperti gas, cair, dan padat ditentukan oleh gaya antarmolekul. Ada tiga jenis gaya, yaitu gaya dipol-dipol, gaya London, dan ikatan hidrogen. Gaya dipol-dipol dan gaya London tergolong gaya van der Waals.
11. Gaya dipol-dipol adalah antaraksi antara molekul-molekul yang memiliki kepolaran. Kepolaran dalam molekul terjadi akibat perbedaan skala keelektronegatifan atom yang membentuk molekul.
12. Gaya dispersi London yang disebabkan oleh adanya dipol sementara sebagai akibat tumbukan antaratom atau molekul yang berdekatan.
13. Gaya dipol yang lebih kuat terjadi pada molekul yang mengandung atom hidrogen terikat pada unsur dengan keelektronegatifan tinggi, seperti nitrogen, oksigen, atau fluorin. Gaya dipol yang dihasilkan dinamakan ikatan hidrogen.



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, Anda tentu dapat meramalkan bentuk molekul suatu senyawa. Selain itu, Anda juga telah mengetahui bagaimana terbentuknya gaya antarmolekul dan pengaruh adanya gaya antarmolekul terhadap sifat fisik molekul tersebut.

Manfaat apa lagi yang Anda peroleh setelah mempelajari bab struktur dan gaya antarmolekul ini?

Jika terdapat kesulitan dalam mempelajari bab ini, Anda dapat mendiskusikannya dengan guru Anda.

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.

- Berikut yang dimaksud dengan sudut ikatan adalah ....
  - sudut antara dua atom melalui atom pusat
  - sudut antara atom-atom berikatan
  - sudut ikatan di antara atom antarmolekul
  - sudut-sudut elektron di dalam atom
  - sudut yang saling tegak lurus dalam atom
- Sudut ikatan yang terdapat dalam bentuk molekul trigonal planar adalah ....
  - $60^\circ$
  - $90^\circ$
  - $120^\circ$
  - $150^\circ$
  - $180^\circ$
- Sudut ikatan yang terdapat dalam bentuk molekul tetrahedral adalah ....
  - $90^\circ$
  - $109,5^\circ$
  - $115,5^\circ$
  - $135^\circ$
  - $180^\circ$
- Bentuk molekul yang memiliki dua buah sudut ikatan berbeda adalah ....
  - bujur sangkar
  - tetrahedral
  - trigonal bipiramidal
  - oktahedral
  - dwilimas segiempat
- Bentuk molekul berikut *tidak* dapat dibangun oleh molekul yang memiliki 5 buah atom adalah ....
  - bujur sangkar
  - tetrahedral
  - trigonal bipiramidal
  - oktahedral
  - piramida alas bujur sangkar
- Berdasarkan teori domain elektron, molekul yang diharapkan linear adalah ....
  - $\text{BeH}_2$
  - $\text{OH}_2$
  - $\text{OF}_2$
  - $\text{NH}_2$
  - $\text{SO}_2$
- Molekul dengan bentuk trigonal planar terdapat pada ....
  - $\text{BCl}_3$
  - $\text{NH}_3$
  - $\text{O}_3$
  - $\text{NO}_2$
  - $\text{SiH}_4$
- Molekul yang memiliki bentuk tetrahedral adalah ....
  - $\text{SF}_4$
  - $\text{XeF}_4$
  - $\text{H}_2\text{O}_2$
  - $\text{POCl}_3$
  - $\text{C}_2\text{H}_2$
- Bentuk molekul  $\text{PF}_3$  adalah ....
  - bujur sangkar
  - tetrahedral
  - bipiramid segitiga
  - trigonal planar
  - trigonal piramidal
- Pasangan molekul yang memiliki bentuk molekul sama adalah ....
  - $\text{SO}_2$  dan  $\text{CO}_2$
  - $\text{PH}_3$  dan  $\text{BF}_3$
  - $\text{CO}_2$  dan  $\text{OF}_2$
  - $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{CO}_2$
  - $\text{CO}_2$  dan  $\text{BeCl}_2$
- Molekul  $\text{SiF}_4$  memiliki bentuk ....
  - linear
  - bujur sangkar
  - tetrahedral
  - oktahedral
  - dwilimas alas segiempat
- Senyawa  $\text{XCl}_3$  memiliki momen dipol sama dengan nol. Geometri molekulnya adalah ....
  - linear
  - tetrahedral
  - piramida
  - bujur sangkar
  - trigonal planar
- Bentuk molekul dari ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) adalah ....
  - linear
  - tetrahedral
  - oktahedral
  - trigonal planar
  - segitiga piramida
- Menurut teori domain elektron, bentuk molekul  $\text{CO}_2$ ,  $\text{PCl}_5$ , dan  $\text{SF}_6$  adalah ....
  - trigonal planar, tetrahedral, dan oktahedral
  - linear, trigonal bipiramidal, dan oktahedral
  - linear, tetrahedral, dan trigonal bipiramidal
  - trigonal planar, trigonal bipiramidal, dan oktahedral
  - tetrahedral, oktahedral, dan trigonal bipiramidal
- Molekul  $\text{NH}_3$  memiliki struktur ruang elektron dan struktur ruang molekul sebagai ....
 

Struktur ruang elektron	Struktur ruang molekul
A. trigonal planar	trigonal piramidal
B. tetrahedral	tetrahedral
C. trigonal planar	tetrahedral
D. tetrahedral	trigonal planar
E. tetrahedral	trigonal piramida
- Unsur X dengan nomor atom 5 dan unsur Y dengan nomor atom 17 membentuk senyawa  $\text{XY}_3$ . Bentuk molekul senyawa ini adalah ....
  - linear
  - piramida
  - trigonal planar
  - tetrahedral
  - bujur sangkar
- Bentuk molekul dari ion sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) adalah ....
  - linear
  - tetrahedral
  - bujur sangkar
  - trigonal planar
  - trigonal piramidal

18. Bentuk molekul  $\text{ClO}_3\text{F}$  adalah ....  
 A. linear D. nonlinear  
 B. tetrahedral E. trigonal planar  
 C. bujur sangkar
19. Senyawa yang memiliki dua pasang elektron bebas adalah ....  
 A.  $\text{HCl}$  D.  $\text{BCl}_3$   
 B.  $\text{H}_2\text{O}$  E.  $\text{NaCl}$   
 C.  $\text{NH}_3$
20. Bentuk molekul dari ion metil ( $\text{CH}_3^+$ ) adalah ....  
 A. linear D. trigonal planar  
 B. tetrahedral E. segiempat  
 C. trigonal piramidal
21. Unsur M memiliki struktur elektron terluar  $s^2 p^1$ . Jika unsur itu membentuk molekul  $\text{MX}_3$  maka hibridisasi yang terjadi pada unsur M adalah ....  
 A.  $s^2 p$  D.  $sp^3$   
 B.  $sp$  E.  $dsp^3$   
 C.  $sp^2$
22. Hibridisasi yang terjadi pada atom pusat C dalam molekul  $\text{CH}_4$  adalah ....  
 A.  $sp$  D.  $sp^3 d$   
 B.  $sp^2$  E.  $sp^3 d$   
 C.  $sp^3$
23. Unsur yang dapat membentuk hibrida  $sp^3 d$  adalah yang memiliki konfigurasi elektron terluar ....  
 A.  $2s^2 2p^3$  D.  $3s^2 3p^3$   
 B.  $2s^1 2p^3$  E.  $3s^1 3p^2$   
 C.  $3s^1 3p^3$
24. Orbital hibrida yang digunakan pada atom pusat S dalam ion  $\text{SO}_3^{2-}$  adalah ....  
 A.  $sp^3 d^2$  D.  $sp^3$   
 B.  $sp$  E.  $dsp^2$   
 C.  $sp^2$
25. Atom pusat M dalam molekul memiliki orbital hibrida  $dsp^3$ . Jika tiap orbital itu digunakan untuk mengikat suatu atom X pada atom pusat itu maka molekul yang dibentuk memiliki rumus ....  
 A.  $\text{MX}_2$  D.  $\text{MX}_5$   
 B.  $\text{MX}_3$  E.  $\text{MX}_6$   
 C.  $\text{MX}_4$
26. Jumlah ikatan pi ( $\pi$ ) yang terdapat dalam senyawa  $\text{C}_2\text{Cl}_2$  adalah ....  
 A. 0 D. 3  
 B. 1 E. 7  
 C. 2
27. Senyawa berikut yang diharapkan memiliki gaya antarmolekul paling lemah adalah ....  
 A.  $\text{HCl}$  D.  $\text{NF}_3$   
 B.  $\text{He}$  E.  $\text{H}_2\text{O}$   
 C.  $\text{NH}_3$
28. Berdasarkan pada kekuatan relatif gaya antarmolekul, urutan penurunan titik didih tiga zat berikut adalah ....  
 A.  $\text{CH}_3\text{OH} > \text{CH}_4 > \text{H}_2$   
 B.  $\text{CH}_3\text{OH} > \text{H}_2 > \text{CH}_4$   
 C.  $\text{CH}_4 > \text{CH}_3\text{OH} > \text{H}_2$   
 D.  $\text{CH}_4 > \text{H}_2 > \text{CH}_3\text{OH}$   
 E.  $\text{H}_2 > \text{CH}_4 > \text{CH}_3\text{OH}$
29. Udara mengandung gas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . Jika udara dicairkan, yang terakhir mencair adalah ....  
 A.  $\text{CO}_2$  D.  $\text{H}_2$   
 B.  $\text{He}$  E.  $\text{H}_2\text{O}$   
 C.  $\text{N}_2$
30. Titik didih  $\text{NH}_3$  ( $-33^\circ\text{C}$ ) lebih tinggi daripada titik didih  $\text{PH}_3$  ( $-87,7^\circ\text{C}$ ). Hal ini disebabkan ....  
 A. massa molekul  $\text{NH}_3$  lebih tinggi dari  $\text{PH}_3$   
 B.  $\text{NH}_3$  senyawa ionik,  $\text{PH}_3$  molekuler  
 C. gaya London untuk  $\text{NH}_3$  lebih kuat  
 D. pada  $\text{NH}_3$  terdapat ikatan hidrogen  
 E.  $\text{NH}_3$  polar,  $\text{PH}_3$  nonpolar
31. **EBTANAS 1998:**  
 Diketahui senyawa berikut:  
 1.  $\text{H}_2\text{O}(\ell)$ ; 4.  $\text{HF}(\ell)$ ;  
 2.  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$ ; 5.  $\text{NH}_3(\ell)$ .  
 3.  $\text{CH}_4(\text{g})$ ;  
 Kelompok senyawa yang memiliki ikatan hidrogen adalah ....  
 A. 1, 2, 3 D. 2, 3, 5  
 B. 1, 3, 4 E. 3, 4, 5  
 C. 1, 4, 5
32. Senyawa berikut yang *tidak* memiliki ikatan hidrogen antarmolekul adalah ....  
 A.  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  D.  $\text{CH}_3\text{COOH}$   
 B.  $\text{HF}$  E.  $\text{CCl}_4$   
 C.  $\text{H}_2\text{O}$
33. Senyawa berikut yang memiliki ikatan hidrogen intramolekul adalah ....  
 A.  $\text{CH}_3\text{F}$  D.  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
 B.  $\text{H}_2\text{O}$  E.  $\text{HNO}_3$   
 C.  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$
34. Ikatan hidrogen paling kuat terdapat dalam senyawa ....  
 A.  $\text{NH}_3$   
 B.  $\text{H}_2\text{O}$   
 C.  $\text{H}_2\text{S}$   
 D.  $\text{HCl}$   
 E.  $\text{HF}$
35. Pada tekanan 1 atm, air memiliki titik didih  $100^\circ\text{C}$ , sedangkan  $\text{H}_2\text{Se}$  memiliki titik didih  $-42^\circ\text{C}$ . Gejala ini dapat dijelaskan dengan konsep ....  
 A. gaya van der Waals  
 B. ikatan kovalen  
 C. ikatan ionik  
 D. berat molekul  
 E. ikatan hidrogen



**B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.**

1. Bentuk molekul apakah yang diharapkan pada molekul dengan rumus  $AB$ ,  $AB_2$ ,  $AB_3$ , dan  $AB_5$ ?
2. Bagaimana pandangan dari teori domain elektron terhadap molekul yang memiliki ikatan rangkap dua dan ikatan rangkap tiga? Bagaimanakah pasangan elektron bebas diperlakukan?
3. Perkirakan struktur molekul untuk setiap senyawa berikut menurut teori domain elektron?
  - a.  $CCl_4$
  - b.  $H_2Se$
  - c.  $AsF_3$
  - d.  $AlCl_3$
  - e.  $PF_5$
4. Manakah di antara molekul berikut yang memiliki sudut ikatan  $90^\circ$ ?
  - a.  $TeF_6$
  - b.  $AsBr_5$
  - c.  $GaI_3$
  - d.  $XeF_4$
  - e.  $NH_4^+$
  - f.  $PF_5$
  - g.  $SiCl_4$
5. Apakah yang dimaksud dengan orbital hibrida? Bagaimana proses terbentuknya orbital tersebut?
6. Perkirakan bentuk molekul  $CO_2$ ,  $BF_3$ ,  $CH_4$ ,  $PCl_5$ , dan  $SF_6$  dengan menggunakan teori hibridisasi. Orbital hibrida apakah yang terbentuk?
7. Jelaskan terjadinya antaraksi antara dua dipol pada molekul? Apakah yang menyebabkan terjadinya gaya London? Faktor apakah yang menentukan kekuatan gaya London di antara molekul?
8. Apakah yang dimaksud dengan ikatan hidrogen? Atom-atom manakah yang dapat membentuk ikatan hidrogen?
9. Gaya antarmolekul apakah yang terdapat dalam senyawa berikut:
  - a.  $CO_2$
  - b.  $AsCl_5$
  - c.  $COCl_2$
  - d.  $SeF_4$
  - e.  $BCl_3$
  - f.  $NOCl$
10. Pilih zat dalam setiap kelompok senyawa berikut yang memiliki gaya antarmolekul paling besar.
  - a.  $P_4$ ,  $S_8$ , atau  $Cl_2$  (pertimbangan massa)
  - b.  $CO_2$  atau  $SO_2$  (pertimbangan momen dipol)
  - c.  $F_2$  atau Ar (pertimbangan bentuk)
  - d.  $CH_4$  atau  $CCl_4$  (pertimbangan massa)

# Bab 3



Sumber: Chemistry, 2001

Sumber energi yang digunakan untuk bahan bakar berasal dari minyak bumi.

## Termokimia

Hasil yang harus Anda capai:

memahami perubahan energi dalam reaksi kimia dan cara pengukurannya.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- mendeskripsikan perubahan entalpi suatu reaksi, reaksi eksoterm, dan reaksi endoterm;
- menentukan  $\Delta H$  reaksi berdasarkan percobaan, Hukum Hess, data perubahan entalpi pembentukan standar, dan data energi ikatan.

Energi merupakan sumber esensial bagi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya. Makanan yang kita makan merupakan sumber energi yang memberikan kekuatan kepada kita untuk dapat bekerja, belajar, dan beraktivitas lainnya. Setiap materi mengandung energi dalam bentuk energi potensial dan energi kinetik. Kedua energi ini dinamakan energi internal. Jika energi yang terkandung dalam materi berubah maka perubahan energi dinamakan kalor. Perubahan energi (kalor) pada tekanan tetap dinamakan perubahan entalpi ( $\Delta H$ ).

Bagaimanakah perubahan entalpi suatu reaksi? Apakah reaksi eksoterm dan endoterm? Bagaimanakah menentukan  $\Delta H$  reaksi berdasarkan percobaan? Anda dapat menjawabnya jika Anda mempelajari bab ini dengan baik.

- A. Entalpi dan Perubahannya
- B. Penentuan  $\Delta H$  Reaksi secara Empirik
- C. Penentuan  $\Delta H$  Reaksi secara Semiempirik
- D. Kalor bahan Bakar dan Sumber Energi

## Tes Kompetensi Awal

1. Apakah yang Anda ketahui tentang reaksi eksoterm?
2. Apakah yang Anda ketahui tentang reaksi endoterm?
3. Tuliskan contoh reaksi eksoterm dan endoterm?

## A. Entalpi dan Perubahannya

Setiap materi mengandung energi yang disebut energi internal (U). Besarnya energi ini tidak dapat diukur, yang dapat diukur hanyalah perubahannya. Mengapa energi internal tidak dapat diukur? Sebab materi harus bergerak dengan kecepatan sebesar kuadrat kecepatan cahaya sesuai persamaan Einstein ( $E = mc^2$ ). Di alam, yang tercepat adalah cahaya. Perubahan energi internal ditentukan oleh keadaan akhir dan keadaan awal ( $\Delta U = U_{\text{akhir}} - U_{\text{awal}}$ ).

### 1. Definisi Entalpi ( $\Delta H$ )

Perubahan energi internal dalam bentuk panas dinamakan kalor. Kalor adalah energi panas yang ditransfer (mengalir) dari satu materi ke materi lain. Jika tidak ada energi yang ditransfer, tidak dapat dikatakan bahwa materi mengandung kalor.

Jadi, Anda dapat mengukur kalor jika ada aliran energi dari satu materi ke materi lain. Besarnya kalor ini, ditentukan oleh selisih keadaan akhir dan keadaan awal.

#### Contoh:

Tinjau air panas dalam termos. Anda tidak dapat mengatakan bahwa air dalam termos mengandung banyak kalor sebab panas yang terkandung dalam air termos bukan kalor, tetapi energi internal.

Jika terjadi perpindahan panas dari air dalam termos ke lingkungan sekitarnya atau dicampur dengan air dingin maka akan terbentuk kalor. Besarnya kalor ini diukur berdasarkan perbedaan suhu dan dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Q = m c \Delta T$$

#### Keterangan:

- Q = kalor  
m = massa zat  
c = kalor jenis zat  
 $\Delta T$  = selisih suhu

Jika perubahan energi terjadi pada tekanan tetap, misalnya dalam wadah terbuka (tekanan atmosfer) maka kalor yang terbentuk dinamakan perubahan entalpi ( $\Delta H$ ). Entalpi dilambangkan dengan H (berasal dari kata 'Heat of Content'). Dengan demikian, perubahan entalpi adalah kalor yang terjadi pada tekanan tetap, atau  $\Delta H = Q_p$  ( $Q_p$  menyatakan kalor yang diukur pada tekanan tetap).

### 2. Sistem dan Lingkungan

Secara prinsip, perubahan entalpi disebabkan adanya aliran panas dari sistem ke lingkungan, atau sebaliknya. Apakah yang disebut sistem dan lingkungan?



Termokimia adalah ilmu yang mempelajari perubahan kalor dalam suatu reaksi kimia.

Thermochemistry is the study of heat change in chemical reactions.

Secara umum, sistem didefinisikan sebagai bagian dari semesta yang merupakan fokus kajian dan lingkungan adalah segala sesuatu di luar sistem yang bukan kajian.

Dalam reaksi kimia, Anda dapat mendefinisikan sistem. Misalnya pereaksi maka selain pereaksi disebut lingkungan, seperti pelarut, hasil reaksi, tabung reaksi, udara di sekitarnya, dan segala sesuatu selain pereaksi.

### Contoh 3.1

#### Sistem dan Lingkungan

Ke dalam gelas kimia yang berisi air, dilarutkan 10 g gula pasir. Jika gula pasir ditetapkan sebagai sistem, manakah yang termasuk lingkungan?

Jawab:

Karena gula pasir dipandang sebagai sistem maka selain dari gula pasir termasuk lingkungan, seperti air sebagai pelarut, gelas kimia, penutup gelas kimia, dan udara di sekelilingnya.

### 3. Reaksi Eksoterm dan Endoterm

Jika dalam reaksi kimia terjadi perpindahan panas dari sistem ke lingkungan maka suhu lingkungan meningkat. Jika suhu sistem turun maka dikatakan bahwa reaksi tersebut eksoterm. Reaksi endoterm adalah kebalikan dari reaksi eksoterm (perhatikan Gambar 3.1). Ungkapkanlah dengan kalimat Anda sendiri.

Contoh:

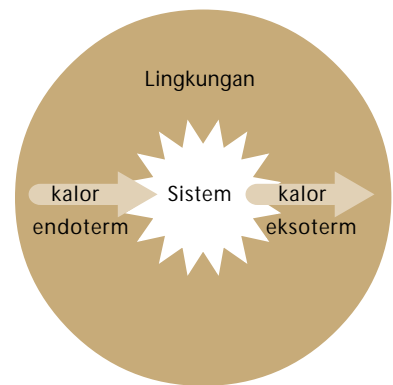
Jika NaOH dan HCl direaksikan dalam pelarut air, kemudian suhu larutan diukur maka ketinggian raksa pada termometer akan naik yang menunjukkan suhu larutan meningkat.

Apakah reaksi tersebut eksoterm atau endoterm? Semua literatur menyatakan reaksi NaOH dan HCl melepaskan kalor (eksoterm). Jika melepaskan kalor suhunya harus turun, tetapi faktanya naik. Bagaimana menjelaskan fakta tersebut dihubungkan dengan hasil studi literatur?

NaOH dan HCl adalah sistem yang akan dipelajari (fokus kajian). Selain kedua zat tersebut dikukuhkan sebagai lingkungan, seperti pelarut, gelas kimia, batang termometer, dan udara sekitar. Ketika NaOH dan HCl bereaksi, terbentuk NaCl dan H<sub>2</sub>O disertai pelepasan kalor. Kalor yang dilepaskan ini diserap oleh lingkungan, akibatnya suhu lingkungan naik. Kenaikan suhu lingkungan ditunjukkan oleh naiknya suhu larutan. Jadi, yang Anda ukur bukan suhu sistem (NaOH dan HCl) melainkan suhu lingkungan (larutan NaCl sebagai hasil reaksi). Zat NaOH dan HCl dalam larutan sudah habis bereaksi. Oleh karena reaksi NaOH dan HCl melepaskan sejumlah kalor maka dikatakan reaksi tersebut eksoterm. Dengan demikian, antara fakta dan studi literatur cocok. Salah satu contoh reaksi endoterm dapat diperhatikan pada Gambar 3.2.

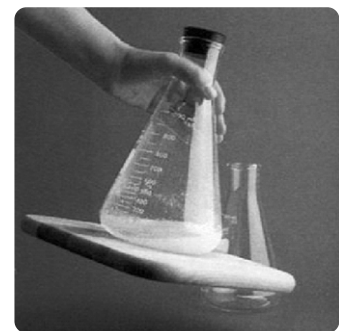
Bagaimana hubungan antara reaksi eksoterm/endoterm dan perubahan entalpi? Dalam reaksi kimia yang melepaskan kalor (eksoterm), energi yang terkandung dalam zat-zat hasil reaksi lebih kecil dari zat-zat pereaksi. Oleh karena itu, perubahan entalpi reaksi berharga negatif.

$$\Delta H = H_{\text{produk}} - H_{\text{pereaksi}} < 0$$



Gambar 3.1

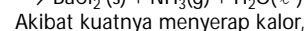
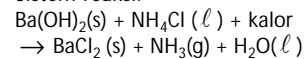
Diagram proses eksoterm dan endoterm antara sistem dan lingkungan.



Sumber: Chemistry, 2001

Gambar 3.2

Sistem reaksi:

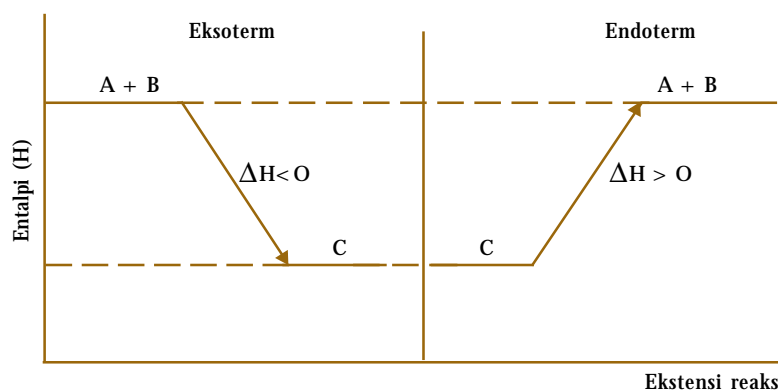
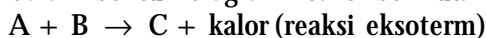


Akibat kuatnya menyerap kalor, bantalan menempel kuat pada labu erlenmeyer. Mengapa?

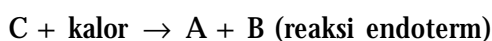
Pada reaksi endoterm, perubahan entalpi reaksi akan berharga positif.

$$\Delta H = H_{\text{produk}} - H_{\text{pereaksi}} > 0$$

Secara umum, perubahan entalpi dalam reaksi kimia dapat diungkapkan dalam bentuk diagram reaksi berikut.



Gambar 3.3  
Diagram entalpi reaksi



Pada Gambar 3.3, tanda panah menunjukkan arah reaksi. Pada reaksi eksoterm, selisih entalpi berharga negatif sebab entalpi hasil reaksi (C) lebih rendah daripada entalpi pereaksi (A+B). Adapun pada reaksi endoterm, perubahan entalpi berharga positif sebab entalpi produk (A+B) lebih besar daripada entalpi pereaksi (C).

### Kata Kunci

- Eksoterm
- Endoterm

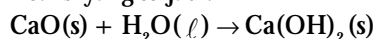
### Contoh 3.2

#### Reaksi Eksoterm

Kapur tohor (CaO) digunakan untuk melabur rumah agar tampak putih bersih. Sebelum kapur dipakai, terlebih dahulu dicampur dengan air dan terjadi reaksi yang disertai panas. Apakah reaksi ini eksoterm atau endoterm? Bagaimana perubahan entalpinya?

Jawab:

Reaksi yang terjadi:



Oleh karena timbul panas, artinya reaksi tersebut melepaskan kalor atau reaksinya eksoterm, ini berarti kalor hasil reaksi lebih rendah dari pereaksi. Jika reaksi itu dilakukan pada tekanan tetap (terbuka) maka kalor yang dilepaskan menyatakan perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) yang harganya negatif.

### Contoh 3.3

#### Reaksi Endoterm

Sepotong es dimasukkan ke dalam botol plastik dan ditutup. Dalam jangka waktu tertentu es mencair, tetapi di dinding botol sebelah luar ada tetesan air. Dari mana tetesan air itu?

Jawab:

Perubahan es menjadi cair memerlukan energi dalam bentuk kalor. Persamaan kimianya:



Kalor yang diperlukan untuk mencairkan es diserap dari lingkungan sekitar, yaitu botol dan udara. Ketika es mencair, es menyerap panas dari botol sehingga suhu botol akan turun sampai mendekati suhu es.

Oleh karena suhu botol bagian dalam dan luar mendekati suhu es maka botol akan menyerap panas dari udara sekitar. Akibatnya, uap air yang ada di udara sekitar suhunya juga turun sehingga mendekati titik leleh dan menjadi cair yang kemudian menempel pada dinding botol.

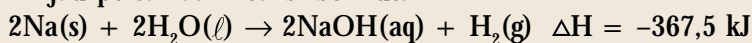
#### 4. Persamaan Termokimia

Bukan hanya tata nama yang memiliki peraturan, penulisan perubahan entalpi reaksi juga dibuat aturannya, yaitu:

- Tuliskan persamaan reaksi lengkap dengan koefisien dan fasanya, kemudian tuliskan  $\Delta H$  di ruas kanan (hasil reaksi).
- Untuk reaksi eksoterm, nilai  $\Delta H$  negatif, sebaliknya untuk reaksi endoterm, nilai  $\Delta H$  positif.

Contoh:

Tinjau persamaan reaksi berikut:



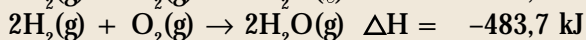
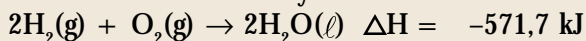
Persamaan ini menyatakan bahwa dua mol natrium bereaksi dengan dua mol air menghasilkan dua mol natrium hidroksida dan satu mol gas hidrogen. Pada reaksi ini dilepaskan kalor sebesar 367,5 kJ.

Pada persamaan termokimia harus dilibatkan fasa zat-zat yang bereaksi sebab perubahan entalpi bergantung pada fasa zat.

Contoh:

Reaksi gas  $\text{H}_2$  dan  $\text{O}_2$  membentuk  $\text{H}_2\text{O}$ . Jika air yang dihasilkan berwujud cair, kalor yang dilepaskan sebesar 571,7 kJ. Akan tetapi, jika air yang dihasilkan berupa uap, kalor yang dilepaskan sebesar 483,7 kJ.

Persamaan termokimianya:



Gejala ini dapat dipahami karena pada saat air diuapkan menjadi uap air memerlukan kalor sebesar selisih  $\Delta H$  kedua reaksi tersebut.

#### Kata Kunci

- Entalpi
- Lingkungan
- Sistem
- Termokimia

### Contoh 3.4

#### Menuliskan Persamaan Termokimia

Larutan  $\text{NaHCO}_3$  (baking soda) bereaksi dengan asam klorida menghasilkan larutan natrium klorida, air, dan gas karbon dioksida. Reaksi menyerap kalor sebesar 11,8 kJ pada tekanan tetap untuk setiap mol baking soda. Tuliskan persamaan termokimia untuk reaksi tersebut.

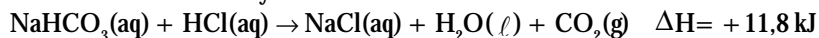
Jawab:

Persamaan kimia setara untuk reaksi tersebut adalah



Oleh karena reaksi membutuhkan kalor maka entalpi reaksi dituliskan positif.

Persamaan termokimianya:





Selain aturan tersebut, ada beberapa aturan tambahan, yaitu:

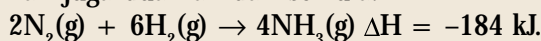
- a. Jika persamaan termokimia dikalikan dengan faktor tertentu, nilai  $\Delta H$  juga harus dikalikan dengan faktor tersebut.

Contoh:

Persamaan termokimia untuk sintesis amonia:



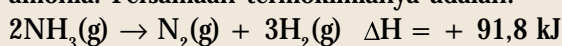
Jika jumlah pereaksi dinaikkan dua kali lipat, kalor reaksi yang dihasilkan juga dua kali dari semula.



- b. Jika persamaan kimia arahnya dibalikkan, nilai  $\Delta H$  akan berubah tanda.

Contoh:

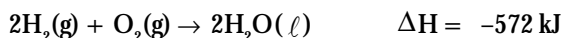
Sintesis amonia pada contoh di atas dibalikkan menjadi reaksi penguraian amonia. Persamaan termokimianya adalah:



### Contoh 3.5

#### Memanipulasi Persamaan Termokimia

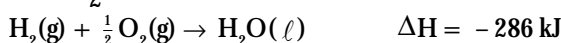
Sebanyak 2 mol  $\text{H}_2(\text{g})$  dan 1 mol  $\text{O}_2(\text{g})$  bereaksi membentuk air disertai pelepasan kalor sebesar 572 kJ.



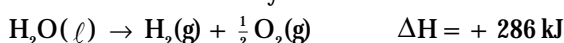
Tuliskan persamaan termokimia untuk pembentukan satu mol air. Tuliskan juga reaksi untuk kebalikannya.

Jawab:

Pembentukan satu mol air, berarti mengalikan persamaan termokimia dengan faktor  $\frac{1}{2}$ .



Untuk reaksi kebalikannya:



## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Definiskan sistem dan lingkungan. Berikan tiga contoh sistem yang dipisahkan dari lingkungannya.
2. Jelaskan bahwa konsep materi yang panas mengandung banyak kalor itu salah jika dihubungkan dengan transfer kalor antara sistem dan lingkungan.
3. Pada siang hari tumbuhan dapat melakukan fotosintesis, yaitu mengubah gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi glukosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). Reaksi fotosintesis dapat berlangsung jika ada cahaya matahari sebagai sumber energi. Persamaan reaksi fotosintesis:  
$$6\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\ell) \xrightarrow{\text{sinar}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g})$$
  - (a) Apakah proses fotosintesis tergolong eksoterm atau endoterm?
  - (b) Tentukan sistem dan lingkungan pada proses fotosintesis?
4. Golongkan proses berikut ke dalam reaksi eksoterm atau endoterm.
  - (a) Pembentukan es di dalam kulkas.
  - (b) Menjemur pakaian yang sudah dicuci agar menjadi kering.
  - (c) Pembakaran kayu.
5. Manakah perubahan energi berikut yang merupakan perubahan entalpi?
  - (a) Pembakaran gas LPG pada kompor gas.
  - (b) Pendinginan ruangan dengan AC (Air Conditioner).
  - (c) Pencairan gas dalam tabung yang tertutup rapat (volume tetap).
6. Ke dalam gelas berisi air teh ditambahkan 1 sendok gula pasir.

- (a) Jika teh ditetapkan sebagai sistem, manakah yang termasuk lingkungan?
- (b) Jika air teh dianggap sebagai sistem, manakah yang termasuk lingkungan?
7. Kalsium karbida ( $\text{CaC}_2$ ) bereaksi dengan air membentuk asetilen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) dan kalsium hidroksida. Reaksi melepas kalor sebesar 128 kJ. Tuliskan persamaan termokimia untuk reaksi tersebut.
8. Fosfor putih terbakar di udara membentuk tetrafosfor deoksida disertai pelepasan kalor sebesar 2.942 kJ. Tuliskan persamaan termokimia untuk reaksi tersebut.
9. Jika 32 gram metana dibakar dalam oksigen, dibebaskan kalor sebesar 1.530 kJ. Hitung jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran 1 mol metana.
10. Jika 2,47 gram barium bereaksi dengan klor, dibebaskan kalor sebanyak 15,4 kJ. Hitung kalor yang dibebaskan jika 1,0 mol barium klorida dibentuk dari unsur-unsurnya.

## B. Penentuan $\Delta H$ Reaksi secara Empirik

Penentuan perubahan entalpi suatu reaksi dapat dilakukan secara empirik maupun secara semiempirik. Secara empirik, artinya melakukan pengukuran secara langsung di laboratorium, sedangkan semiempirik adalah menggunakan data termodinamika yang sudah ada di handbook.

Perubahan entalpi reaksi dapat ditentukan melalui pengukuran secara langsung di laboratorium berdasarkan perubahan suhu reaksi karena suhu merupakan ukuran panas (kalor). Jika reaksi dilakukan pada tekanan tetap maka kalor yang terlibat dalam reaksi dinamakan perubahan entalpi reaksi ( $\Delta H$  reaksi).

### 1. Pengukuran Kalor

Anda pasti pernah memasak air, bagaimana menentukan kalor yang diperlukan untuk mendidihkan air sebanyak 2 liter? Untuk mengetahui ini, Anda perlu mengukur suhu air sebelum dan sesudah pemanasan. Dari selisih suhu, Anda dapat menghitung kalor yang diserap oleh air, berdasarkan persamaan:

$$Q = m c \Delta T$$

Keterangan:

$m$  = massa air (dalam gram)

$c$  = kalor jenis zat, yaitu jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu gram zat sebesar  $1^\circ\text{C}$

$\Delta T$  = perubahan suhu

### Contoh 3.6

#### Menghitung Kalor

Berapa kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 50 g air dari  $25^\circ\text{C}$  menjadi  $60^\circ\text{C}$ ? Diketahui kalor jenis air,  $c = 4,18 \text{ J g}^{-1}\text{C}^{-1}$ .

Jawab:

Kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 50 g air adalah sebesar 50 kali 1 g air. Kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu sebesar  $35^\circ\text{C}$  adalah sebanyak 35 kali kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu  $1^\circ\text{C}$ .

Jadi, kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 50 g air dari  $25^\circ\text{C}$  menjadi  $60^\circ\text{C}$  ( $\Delta T = 35^\circ\text{C}$ ) adalah

$$\begin{aligned} Q &= m c \Delta T \\ &= 50 \text{ g} \times 4,18 \text{ J g}^{-1}\text{C}^{-1} \times 35^\circ\text{C} \\ &= 7,315 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Metode lain menentukan kalor adalah didasarkan pada hukum kekekalan energi yang menyatakan bahwa energi semesta tetap. Artinya, kalor yang dilepaskan oleh zat X sama dengan kalor yang diterima oleh zat Y.

Anda sering mencampurkan air panas dan air dingin, bagaimana suhu air setelah dicampurkan? Pada proses pencampuran, kalor yang dilepaskan oleh air panas diserap oleh air dingin hingga suhu campuran menjadi sama. Secara matematika dirumuskan sebagai berikut.

$$Q_{\text{Air panas}} = Q_{\text{Air dingin}}$$

Jadi, pertukaran kalor di antara zat-zat yang berantaraksi, energi totalnya sama dengan nol.

$$Q_{\text{Air panas}} + Q_{\text{Air dingin}} = 0$$

### Contoh 3.7

#### Menghitung Kalor Berdasarkan Hukum Kekekalan Energi

Sebanyak 75 mL air dipanaskan dengan LPG. Jika tidak ada kalor yang terbuang, berapa kalor yang dilepaskan oleh LPG jika suhu air naik dari 25°C menjadi 90°C? Kalor jenis air,  $c = 4,18 \text{ J g}^{-1}\text{C}^{-1}$ , massa jenis air  $1 \text{ g mL}^{-1}$

Jawab:

- Ubah satuan volume air (mL) ke dalam berat (g) menggunakan massa jenis air.
- Hitung kalor yang diserap oleh air
- Hitung kalor yang dilepaskan dari hasil pembakaran gas LPG

$$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ g mL}^{-1} \text{ atau } m_{\text{air}} = \rho_{\text{air}} \times \text{volume air}$$

$$m_{\text{air}} = 1 \text{ g mL}^{-1} \times 75 \text{ mL} = 75 \text{ g}$$

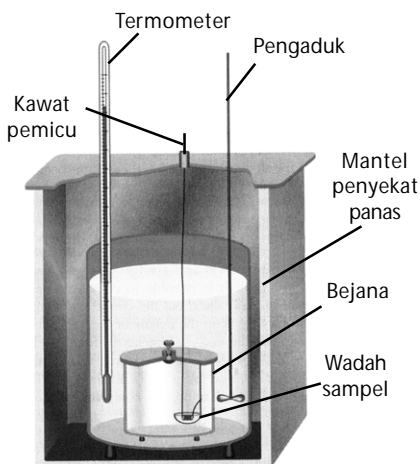
Kalor yang diserap air:

$$Q_{\text{air}} = 75 \text{ g} \times 4,18 \text{ J g}^{-1}\text{C}^{-1} \times (90-25)\text{C} \\ = 20,377 \text{ kJ}$$

Kalor yang diserap air sama dengan kalor yang dilepaskan oleh pembakaran gas LPG.

$$Q_{\text{air}} = Q_{\text{LPG}} \text{ atau } Q_{\text{LPG}} = 20,377 \text{ kJ}$$

Jadi, kalor yang dilepaskan oleh hasil pembakaran gas LPG sebesar 20,377 kJ.



Sumber: Chemistry (Chang), 2004

Gambar 3.4

Skema kalorimeter volume tetap

## 2. Pengukuran Tetapan Kalorimeter

Kalorimeter adalah alat untuk mengukur kalor. Skema alatnya ditunjukkan pada Gambar 3.4. Kalorimeter ini terdiri atas bejana yang dilengkapi dengan pengaduk dan termometer. Bejana diselubungi penyekat panas untuk mengurangi radiasi panas, seperti pada termos. Kalorimeter sederhana dapat dibuat menggunakan wadah styrofoam, Gambar 3.5.

Untuk mengukur kalor reaksi dalam kalorimeter, perlu diketahui terlebih dahulu kalor yang dipertukarkan dengan kalorimeter sebab pada saat terjadi reaksi, sejumlah kalor dipertukarkan antara sistem reaksi dan lingkungan (kalorimeter dan media reaksi). Besarnya kalor yang diserap atau dilepaskan oleh kalorimeter dihitung dengan persamaan:

$$Q_{\text{kalorimeter}} = C_k \cdot \Delta T$$

dengan  $C_k$  adalah kapasitas kalor kalorimeter.

### Contoh 3.8

#### Menentukan Kapasitas Kalor Kalorimeter

Ke dalam kalorimeter dituangkan 50 g air dingin (25°C), kemudian ditambahkan 75g air panas (60°C) sehingga suhu campuran menjadi 35°C. Jika suhu kalorimeter naik sebesar 7°, tentukan kapasitas kalor kalorimeter? Diketahui kalor jenis air =  $4,18 \text{ J g}^{-1}\text{C}^{-1}$ .

Jawab:

Kalor yang dilepaskan air panas sama dengan kalor yang diserap air dingin dan kalorimeter.

$$\begin{aligned}Q_{\text{Air panas}} &= Q_{\text{Air dingin}} + Q_{\text{Kalorimeter}} \\Q_{\text{Air panas}} &= 75 \text{ g} \times 4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (35 - 60)^{\circ}\text{C} \\&= -7.837,5 \text{ J} \\Q_{\text{Air dingin}} &= 50 \text{ g} \times 4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (35 - 25)^{\circ}\text{C} \\&= + 2.090 \text{ J} \\Q_{\text{kalorimeter}} &= C_k \times \Delta T\end{aligned}$$

Oleh karena energi bersifat kekal maka

$$\begin{aligned}Q_{\text{Air panas}} + Q_{\text{Air dingin}} + Q_{\text{Kalorimeter}} &= 0 \\-7.837,5 \text{ J} + 2.090 \text{ J} + (C_k \cdot 7^{\circ}\text{C}) &= 0 \\C_k &= \frac{(7.837,5 - 2.090) \text{ J}}{7^{\circ}\text{C}} = 821 \text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

Jadi, kapasitas kalor kalorimeter  $821 \text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Dalam reaksi eksoterm, kalor yang dilepaskan oleh sistem reaksi akan diserap oleh lingkungan (kalorimeter dan media reaksi). Jumlah kalor yang diserap oleh lingkungan dapat dihitung berdasarkan hukum kekekalan energi. Secara matematika dirumuskan sebagai berikut.

$$Q_{\text{reaksi}} + Q_{\text{larutan}} + Q_{\text{kalorimeter}} = 0$$

### Contoh 3.9

#### Menentukan Kalor Reaksi

Dalam kalorimeter yang telah dikalibrasi dan terbuka direaksikan 50g alkohol dan 3g logam natrium. Jika suhu awal campuran  $30^{\circ}\text{C}$  dan setelah reaksi suhunya  $75^{\circ}\text{C}$ , tentukan  $\Delta H_{\text{reaksi}}$ . Diketahui kalor jenis larutan  $3,65 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , kapasitas kalor kalorimeter  $150 \text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , dan suhu kalorimeter naik sebesar  $10^{\circ}\text{C}$ .

Jawab:

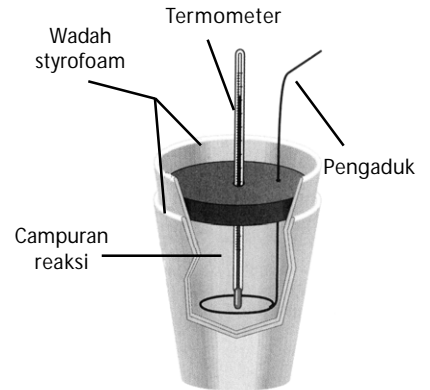
Kalor yang terlibat dalam reaksi:

$$\begin{aligned}Q_{\text{reaksi}} + Q_{\text{larutan}} + Q_{\text{kalorimeter}} &= 0 \\Q_{\text{reaksi}} &= -(Q_{\text{larutan}} + Q_{\text{kalorimeter}}) \\Q_{\text{larutan}} &= (m_{\text{larutan}}) (c_{\text{larutan}}) (\Delta T) \\&= (53\text{g}) (3,65 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}) (45^{\circ}\text{C}) \\&= 8.705,25 \text{ J} \\Q_{\text{kalorimeter}} &= (C_k) (\Delta T) \\&= (150 \text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}) (10^{\circ}\text{C}) = 1.500 \text{ J}\end{aligned}$$

$$Q_{\text{reaksi}} = -(8.705,25 + 1.500) \text{ J} = -10.205,25 \text{ J}$$

Jadi, reaksi alkohol dan logam natrium dilepaskan kalor sebesar 10.205 kJ. Oleh karena pada percobaan dilakukan pada tekanan tetap maka

$$Q_{\text{reaksi}} = \Delta H_{\text{reaksi}} = -10.205 \text{ kJ.}$$



Sumber: Chemistry (Chang), 2004

Gambar 3.5

Kalorimeter sederhana bertekanan tetap



## Sekilas Kimia

### Kalorimetri dalam Biologi

Setiap makhluk hidup adalah suatu sistem pemrosesan energi (menyerap dan melepas kalor). Analisis terhadap aliran energi dalam sistem biologi dapat memberikan informasi tentang bagaimana organisme menggunakan energi untuk tumbuh, berkembang, bereproduksi, dan proses biologis lainnya.

Kalorimetri dapat digunakan untuk mempelajari berbagai proses penyerapan/ pelepasan energi dalam makhluk hidup, seperti laju metabolisme pada jaringan tanaman, aktivitas otot manusia, keseimbangan energi dalam ekosistem, dan kandungan energi dalam bahan makanan. Dengan menggunakan data hasil kalorimetri terhadap berbagai bahan makanan, para ahli gizi dapat menyusun program diet yang sehat.

Sumber: Chemistry The Central Science, 2000



## Aktivitas Kimia 3.1

Penentuan Kalor Reaksi Menggunakan Kalorimeter Sederhana Bertekanan Tetap Tujuan

Menentukan kalor reaksi penetralan HCl dan NaOH.

Alat

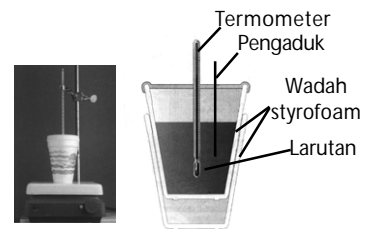
1. Gelas kimia
2. Kalorimeter sederhana
3. termometer

#### Bahan

1. Larutan HCl 10%
2. Larutan NaOH 10%

#### Langkah Kerja

1. Ukur kapasitas kalor kalorimeter dengan cara mencampurkan air panas dan air dingin, seperti pada Contoh 3.8 (contoh penentuan kapasitas kalor kalorimeter), atau asumsikan bahwa kalorimeter tidak menyerap kalor hasil reaksi ( $C_k = 0$ ).
2. Masukkan 50 mL HCl 10% ke dalam gelas kimia dan 50 mL NaOH 5% ke dalam gelas kimia yang lain. Samakan suhu awal pereaksi dan ukur ( $T_1$ ).
3. Campurkan kedua pereaksi itu dalam kalorimeter, kemudian aduk.
4. Catat suhu campuran setiap 30 detik sampai dengan suhu reaksi turun kembali. Buat grafik suhu terhadap waktu (grafik berbentuk parabola), kemudian diinterpolasi mulai dari waktu akhir ( $t_a$ ) sampai waktu 0 detik ( $t_0$ ).
5. Suhu akhir reaksi ( $T_2$ ) adalah suhu pada waktu mendekati 0 detik (hasil interpolasi).

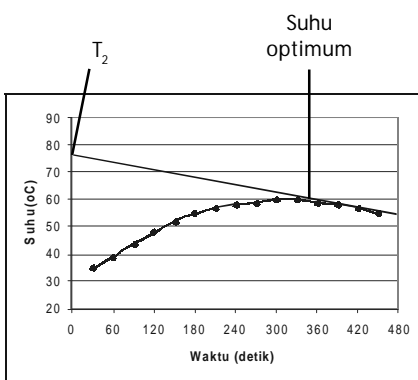


Sumber: Chemistry The Molecular Science, 1997

Waktu	Suhu
30 detik	
1 menit	
1,5 menit	

#### Pertanyaan

1. Jika kalor jenis larutan ( $C_{\text{Larutan}} = 3,89 \text{ J g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), hitunglah kalor reaksi. Asumsikan  $\rho_{\text{larutan}} = 1 \text{ g/mL}$ .
2. Bagaimana caranya menyamakan suhu pereaksi?
3. Berapa selisih suhu akhir dan suhu awal?
4. Berapa kalor yang diserap oleh larutan?
5. Berapa kalor yang dilepaskan oleh sistem reaksi?
6. Apakah percobaan yang Anda lakukan pada tekanan tetap atau bukan?
7. Jika pada tekanan tetap, berapa perubahan entalpi reaksinya,  $\Delta H_{\text{Reaksi}}$ ?



Gambar 3.6

Pada percobaan menggunakan kalorimeter suhu akhir reaksi diperoleh dari hasil interpolasi grafik (garis lurus). Pada grafik tersebut suhu akhir reaksi  $T_2 = 77^\circ\text{C}$ .

Pada percobaan kalorimeter tersebut, mengapa suhu akhir reaksi harus diperoleh melalui interpolasi grafik? Ketika pereaksi dicampurkan, pada saat itu terjadi reaksi dan seketika itu pula kalor reaksi dibebaskan ( $T_2 \approx 0,00 \dots 1$  detik).

Kalor reaksi yang dibebaskan diserap oleh larutan NaCl (hasil reaksi). Termometer tidak dapat mengukur kalor yang diserap oleh larutan NaCl seketika (misal dari  $30^\circ\text{C}$  tiba-tiba menjadi  $77^\circ\text{C}$ ) karena raksa pada termometer naik secara perlahan. Oleh karena kenaikan derajat suhu pada termometer lambat, dalam kurun waktu sekitar 5 menit sudah banyak kalor hasil reaksi terbuang (diserap oleh udara di sekitarnya) sehingga termometer hanya mampu mengukur suhu optimum di bawah suhu hasil reaksi (pada contoh grafik =  $60^\circ\text{C}$ ), perhatikan Gambar 3.6.

Dengan demikian, yang dapat Anda lakukan adalah menginterpolasi grafik suhu setelah optimum. Dasar pemikirannya adalah ketika reaksi terjadi, kalor dibebaskan dan diserap oleh lingkungan. Serapan kalor reaksi

oleh lingkungan mengakibatkan panasnya berkurang (turun secara linear) sampai pada saat suhu reaksi terukur oleh termometer (suhu optimum). Akhirnya, panas reaksi dan suhu termometer turun bersama dan terukur oleh termometer.

## Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Berapakah kalor yang dilepaskan pada pendidihan air sebanyak 500 g dari 25°C sampai 100°C? Asumsikan tidak ada kalor yang terbuang dan massa air tetap. Kalor jenis air =  $4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .
2. Kalor jenis aluminium adalah  $0,9 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  dan kalor jenis timbel adalah  $0,13 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Zat manakah yang lebih besar penurunan suhunya jika kalor dibebaskan dari masing-masing satu gram zat itu sebesar 65 J?
3. Berapa suhu campuran jika 50 g air dingin (25°C) dicampurkan dengan 75 g air panas (75°C)? Diketahui kalor jenis air,  $C = 4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .
4. Berapakah kalor yang dibebaskan pada pembakaran minyak tanah jika dianggap semua kalor yang dibebaskan digunakan untuk menaikkan suhu 50 g air dari 25°C hingga 60°C? Kalor jenis air,  $c = 4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .
5. Kalorimeter dikalibrasi dengan cara mencampurkan 50 g air panas dan 100 g air dingin dalam kalorimeter yang dikalibrasi. Suhu awal air panas adalah 85°C dan suhu awal air dingin 25°C. Suhu akhir campuran adalah 40°C. Berapa kapasitas kalor kalorimeter, jika kalor jenis air  $4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

## C. Penentuan $\Delta H$ secara Semiempirik

Penentuan  $\Delta H$  suatu reaksi, selain dapat diukur secara langsung di laboratorium juga dapat ditentukan berdasarkan data perubahan entalpi standar suatu zat yang terdapat dalam handbook.

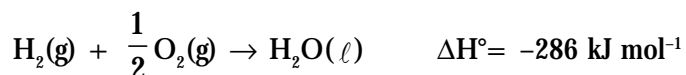
### 1. Perubahan Entalpi Standar ( $\Delta H$ )

Harga perubahan entalpi ditentukan oleh keadaan awal dan keadaan akhir sehingga perlu menetapkan kondisi pada saat entalpi diukur karena harga entalpi bergantung pada keadaan. Para ahli kimia telah menetapkan perubahan entalpi pada keadaan standar adalah kalor yang diukur pada tekanan tetap 1 atm dan suhu 298K. Perubahan entalpi standar dilambangkan dengan  $\Delta H^\circ$ . Satuan entalpi menurut Sistem Internasional (SI) adalah joule (disingkat J).

Perubahan entalpi standar untuk satu mol zat dinamakan  $\Delta H^\circ$  molar. Satuan untuk  $\Delta H^\circ$  molar adalah  $\text{J mol}^{-1}$ . Jenis perubahan entalpi standar bergantung pada macam reaksi sehingga dikenal perubahan entalpi pembentukan standar ( $\Delta H_f^\circ$ ), perubahan entalpi penguraian standar ( $\Delta H_d^\circ$ ), dan perubahan entalpi pembakaran standar ( $\Delta H_c^\circ$ ).

#### a. Perubahan Entalpi Pembentukan Standar

Perubahan entalpi pembentukan standar ( $\Delta H_f^\circ$ ) adalah kalor yang terlibat dalam reaksi pembentukan satu mol senyawa dari unsur-unsurnya, diukur pada keadaan standar. Contohnya, pembentukan satu mol air dari unsur-unsurnya.



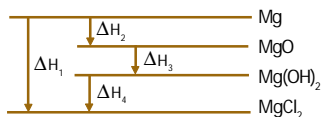
Berdasarkan perjanjian,  $\Delta H^\circ$  untuk unsur-unsur stabil adalah  $0 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Keadaan stabil untuk karbon adalah grafit ( $\Delta H_f^\circ \text{C}_{\text{grafit}} = 0 \text{ kJ}$ ), keadaan stabil untuk gas diatom, seperti  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ , dan lainnya sama dengan nol ( $\Delta H_f^\circ \text{O}_2, \text{H}_2, \text{N}_2, \text{Cl}_2 = 0 \text{ kJ}$ ).





## Mahir Menjawab

Diketahui diagram reaksi sebagai berikut :



Berdasarkan diagram 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.  $\Delta H_1 + \Delta H_3 + \Delta H_4$

Pembahasan

Dari diagram diketahui

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4$$

maka

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 - \Delta H_4$$

Jadi, jawabannya (C)

UNAS 2005



## Sekilas Kimia

Germain Henri Hess  
(1802–1850)



Sumber: [www.chemistryexplained.com](http://www.chemistryexplained.com)

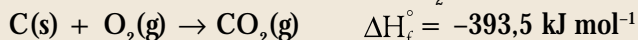
Germain Henri Hess dewasa ini dikenal melalui dua prinsip dasar dalam termokimia yang diusulkannya, yaitu hukum kekekalan penjumlahan kalor (hukum Hess) dan hukum Termoneutralitas. Hess lahir pada 8 Agustus 1802 di Geneva, Swiss. Selain sebagai ilmuwan, Hess juga aktif sebagai guru dan menulis buku dengan judul *Fundamental of Pure Chemistry*. Buku ini digunakan sebagai buku teks standar sampai dengan 1861 di Rusia. Hess meninggal pada 13 Desember 1850, pada usia yang relatif muda, 48 tahun karena sakit.

### b. Perubahan Entalpi Penguraian Standar

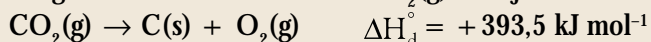
Reaksi penguraian merupakan kebalikan dari reaksi pembentukan, yaitu penguraian senyawa menjadi unsur-unsurnya. Harga perubahan entalpi penguraian standar suatu zat sama besar dengan perubahan entalpi pembentukan standar, tetapi berlawanan tanda.

Contoh:

Pembentukan standar satu mol  $\text{CO}_2$  dari unsur-unsurnya:



Penguraian standar satu mol  $\text{CO}_2(\text{g})$  menjadi unsur-unsurnya:



Pada dasarnya, semua jenis perubahan entalpi standar dapat dinyatakan ke dalam satu istilah, yaitu perubahan entalpi reaksi ( $\Delta H_{\text{reaksi}}^\circ$ ) sebab semua perubahan tersebut dapat digolongkan sebagai reaksi kimia.

## 2. Hukum Hess

Hukum Hess muncul berdasarkan fakta bahwa banyak pembentukan senyawa dari unsur-unsurnya tidak dapat diukur perubahannya secara laboratorium.

Contoh:

Reaksi pembentukan asam sulfat dari unsur-unsurnya.

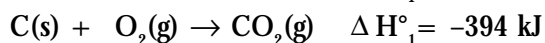


Pembentukan asam sulfat dari unsur-unsurnya tidak terjadi sehingga tidak dapat diukur perubahannya.

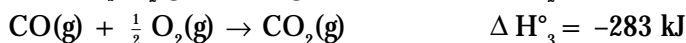
Oleh karena itu, ahli kimia berusaha menemukan alternatif pemecahannya. Pada 1840, pakar kimia dari Swiss Germain H. Hess mampu menjawab tantangan tersebut.

Berdasarkan hasil pengukuran dan sifat-sifat entalpi, Hess menyatakan bahwa entalpi hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir reaksi maka perubahan entalpi tidak bergantung pada jalannya reaksi (proses). Pernyataan ini dikenal dengan hukum Hess. Dengan kata lain, perubahan entalpi reaksi hanya ditentukan oleh kalor pereaksi dan kalor hasil reaksi.

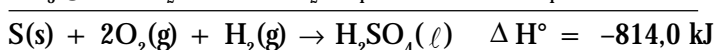
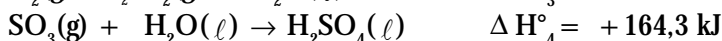
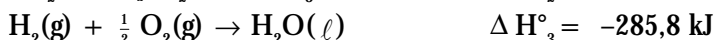
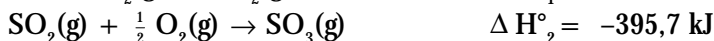
Tinjau reaksi pembentukan  $\text{CO}_2$  (perhatikan Gambar 3.7). Reaksi keseluruhan dapat ditulis dalam satu tahap reaksi dan perubahan entalpi pembentukannya dinyatakan oleh  $\Delta H_1^\circ$ . Persamaan termokimianya:



Reaksi ini dapat dikembangkan menjadi 2 tahap reaksi dengan perubahan entalpi standar adalah  $\Delta H_2^\circ$  dan  $\Delta H_3^\circ$ :



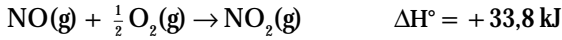
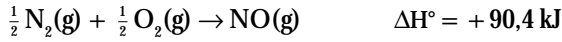
Pembentukan asam sulfat dapat dilakukan melalui 4 tahap reaksi:



### Contoh 3.10

#### Hukum Hess

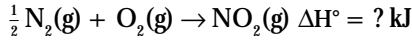
Pembentukan gas  $\text{NO}_2$  dari unsur-unsurnya dapat dilakukan dalam satu tahap atau dua tahap reaksi. Jika diketahui:



Berapakah  $\Delta H^\circ$  pembentukan gas  $\text{NO}_2$ ?

Jawab:

Reaksi pembentukan gas  $\text{NO}_2$  dari unsur-unsurnya:



Menurut hukum Hess,  $\Delta H^\circ$  hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir reaksi.

Dengan demikian,  $\Delta H^\circ$  pembentukan gas  $\text{NO}_2$  dapat ditentukan dari dua tahap reaksi tersebut.

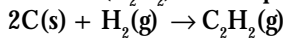


Hukum Hess dapat diterapkan untuk menentukan perubahan entalpi reaksi zat-zat kimia, dengan catatan bahwa setiap tahap reaksi diketahui perubahan entalpinya.

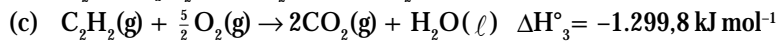
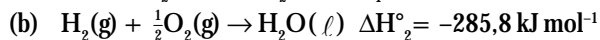
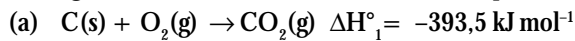
### Contoh 3.11

#### Aplikasi Hukum Hess

Asetilen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) tidak dapat diproduksi langsung dari unsur-unsurnya:



Hitung  $\Delta H^\circ$  untuk reaksi tersebut berdasarkan persamaan termokimia berikut.

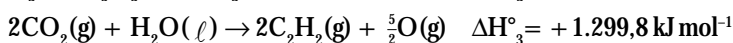


Jawab:

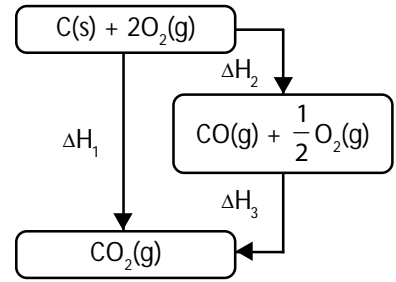
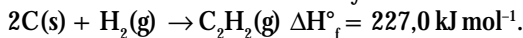
Aturan yang harus diperhatikan adalah

- Posisi pereaksi dan hasil reaksi yang diketahui harus sama dengan posisi yang ditanyakan. Jika tidak sama maka posisi yang diketahui harus diubah.
- Koefisien reaksi (mol zat) yang diketahui harus sama dengan yang ditanyakan. Jika tidak sama maka harus disamakan terlebih dahulu dengan cara dibagi atau dikalikan, demikian juga dengan nilai entalpinya.
  - Persamaan (a) harus dikalikan 2 sebab reaksi pembentukan asetilen memerlukan 2 mol C.
  - Persamaan (b) tidak perlu diubah sebab sudah sesuai dengan persamaan reaksi pembentukan asetilen (1 mol  $\text{H}_2$ ).
  - Persamaan (c) perlu dibalikkan arahnya, sebab  $\text{C}_2\text{H}_2$  berada sebagai pereaksi.

Persamaan termokimianya menjadi:



Jadi, perubahan entalpi pembentukan standar asetilen dari unsur-unsurnya adalah 227  $\text{kJ mol}^{-1}$ . Persamaan termokimianya:



Gambar 3.7

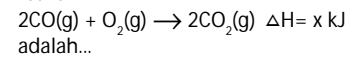
Bagan tahapan reaksi pembakaran karbon.

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



### Mahir Menjawab

Pernyataan yang benar untuk reaksi :



- Kalor pembentukan  $\text{CO} = 2x \text{ kJ mol}^{-1}$
- Kalor penguraian  $\text{CO} = x \text{ kJ mol}^{-1}$
- Kalor pembakaran  $\text{CO} = 2x \text{ kJ mol}^{-1}$
- Kalor pembakaran  $\text{CO} = \frac{1}{2}x \text{ kJ mol}^{-1}$
- Kalor pembentukan  $\text{CO} = \frac{1}{2}x \text{ kJ mol}^{-1}$

Pembahasan

Reaksi dengan oksigen merupakan reaksi pembakaran. Jadi, reaksi tersebut merupakan reaksi pembakaran 2 mol CO dan melepas  $x \text{ kJ}$  energi. Untuk satu mol CO dilepas energi sebesar  $\frac{1}{2}x \text{ kJ}$ . (D)

UNAS 2004

### 3. Penentuan $\Delta H^\circ$ Reaksi dari Data $\Delta H_f^\circ$

Salah satu data perubahan entalpi yang penting adalah perubahan entalpi pembentukan standar,  $\Delta H_f^\circ$ . Dengan memanfaatkan data  $\Delta H_f^\circ$ , Anda dapat menghitung  $\Delta H^\circ$  reaksi-reaksi kimia.  $\Delta H$  tidak bergantung pada jalannya reaksi, tetapi hanya ditentukan oleh  $\Delta H$  pereaksi dan  $\Delta H$  hasil reaksi. Oleh karena itu,  $\Delta H^\circ$  reaksi dapat dihitung dari selisih  $\Delta H_f^\circ$  zat-zat yang bereaksi. Secara matematika dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta H_{\text{reaksi}}^\circ = \sum \Delta H_f^\circ (\text{produk}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{pereaksi})$$

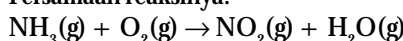
dengan  $\Sigma$  menyatakan jumlah macam zat yang terlibat dalam reaksi.

#### Contoh 3.12

Menghitung  $\Delta H_{\text{reaksi}}^\circ$  dari data  $\Delta H_f^\circ$

Gunakan data  $\Delta H_f^\circ$  untuk menentukan  $\Delta H^\circ$  reaksi amonia dan oksigen berlebih.

Persamaan reaksinya:



Jawab:

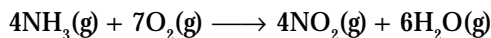
1. Cari data  $\Delta H_f^\circ$  masing-masing zat
2. Setarakan persamaan reaksi
3. Kalikan harga  $\Delta H_f^\circ$  dengan koefisien reaksinya
4. Tentukan  $\Delta H^\circ$  reaksi dengan rumus di atas

Data  $\Delta H_f^\circ$  untuk masing-masing zat adalah

$$\Delta H_f^\circ (\text{NH}_3) = -46,1 \text{ kJ}; \Delta H_f^\circ (\text{O}_2) = 0 \text{ kJ};$$

$$\Delta H_f^\circ (\text{NO}_2) = -33,2 \text{ kJ}; \Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}) = 214,8 \text{ kJ}$$

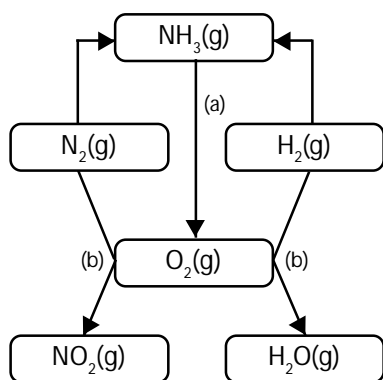
Persamaan reaksi setara:



$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaksi}}^\circ &= \sum \Delta H_f^\circ (\text{produk}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{pereaksi}) \\ &= (1.288,8 \text{ kJ} + 132,8 \text{ kJ}) - (-184 \text{ kJ} + 0) \\ &= 1.340 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Jadi, pembakaran 4 mol amonia dilepaskan kalor sebesar 1.340 kJ.

(tahap reaksi dapat dilihat pada Gambar 3.8)



Gambar 3.8

Diagram tahap-tahap reaksi perubahan amonia.

### 4. Penentuan $\Delta H$ Reaksi dari Data Energi Ikatan

Anda sudah tahu apa yang dimaksud dengan ikatan? Kekuatan ikatan antara atom-atom dalam molekul dapat diketahui dari energinya. Semakin besar energi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan, semakin kuat ikatan tersebut. Pada topik berikut, Anda akan mempelajari cara menghitung energi ikatan dan hubungannya dengan perubahan entalpi.

#### a. Energi Ikatan Rata-Rata

Pada molekul diatom, energi ikatan disebut juga energi disosiasi, dilambangkan dengan  $D$  (dissociation). Energi ikatan didefinisikan sebagai jumlah energi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan 1 mol suatu molekul dalam wujud gas.

Contoh:



Pada molekul beratom banyak, energi untuk memutuskan semua ikatan dalam molekul berwujud gas menjadi atom-atom netral berwujud gas dinamakan energi atomisasi. Besarnya energi atomisasi sama dengan jumlah semua energi ikatan dalam molekul.

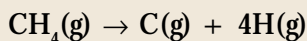


Untuk memutuskan ikatan pada molekul diperlukan energi yang lebih kuat dari energi ikatan antara atom-atomnya.

To break down molecule's bond, the energy must be higher than the bond energy among atoms itself.

Contoh:

Dalam metana, energi atomisasi adalah energi yang diperlukan untuk memutuskan semua ikatan antara atom C dan H.



Dalam molekul beratom banyak, energi yang diperlukan untuk memutuskan satu per satu ikatan tidak sama. Simak tabel berikut.

**Tabel 3.1** Energi Ikatan Rata-Rata untuk Metana ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )

Tahap Pemutusan Ikatan pada $\text{CH}_4$	Energi Disosiasi ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )
$\text{CH}_4(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3(\text{g}) + \text{H}(\text{g})$	$D_{\text{C-H}} = 435$
$\text{CH}_3(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_2(\text{g}) + \text{H}(\text{g})$	$D_{\text{C-H}} = 453$
$\text{CH}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}(\text{g}) + \text{H}(\text{g})$	$D_{\text{C-H}} = 425$
$\text{CH}(\text{g}) \rightarrow \text{C}(\text{g}) + \text{H}(\text{g})$	$D_{\text{C-H}} = 339$

Sumber: Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis, 1989

Berdasarkan data pada Tabel 3.1, apakah yang dapat Anda simpulkan? Kekuatan setiap ikatan C–H dalam metana tidak sama, padahal ikatan yang diputuskan sama, yaitu ikatan antara karbon dan hidrogen. Mengapa?

Ikatan yang diputuskan berasal dari molekul yang sama dan juga atom yang sama, tetapi karena lingkungan kimianya tidak sama, besarnya energi yang diperlukan menjadi berbeda. Oleh karena ikatan yang diputuskan dari atom-atom yang sama dan nilai energi ikatan tidak berbeda jauh maka nilai energi ikatan dirata-ratakan sehingga disebut energi ikatan rata-rata. Berdasarkan pertimbangan tersebut, energi disosiasi ikatan rata-rata untuk C–H adalah  $413 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Nilai ini berlaku untuk semua jenis ikatan C–H dalam molekul. Beberapa harga energi ikatan rata-rata ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2** Energi Ikatan Rata-Rata ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )

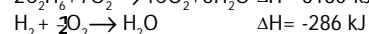
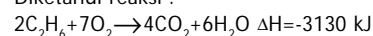
Jenis Ikatan	Atom-Atom yang Berikatan									
		H	C	N	O	S	F	Cl	Br	I
Tunggal	H	432								
	C	413	346							
	N	386	305	167						
	O	459	358	201	142					
	S	363	272	–	–	226				
	F	465	485	283	190	284	155			
	Cl	428	327	313	218	255	249	240		
	Br	362	285	–	201	217	249	216	190	
	I	295	213	–	201	–	278	208	175	149
Rangkap dua	C		602							
	N		615	418						
	O		799	607	494	532				
	S									
Rangkap tiga	C		835							
	N		887	942						

Sumber: General Chemistry (Ebbing), 1990



**Mahir Menjawab**

Diketahui reaksi :

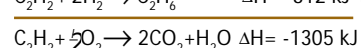
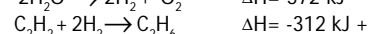
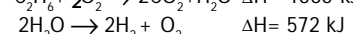
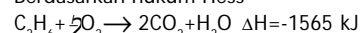


Tentukan  $\Delta H$  yang dibebaskan jika 11,2 liter gas  $\text{C}_2\text{H}_2$  dibakar sempurna pada keadaan standar.

- A. -652,5 kJ      D. 1864 kJ  
 B. 652,5 kJ      E. -2449 kJ  
 C. -1864 kJ

Pembahasan

Berdasarkan hukum Hess



$$11,2 \text{ L } \text{C}_2\text{H}_2 \text{ (STP)} = \frac{11,2}{22,4} = 0,5 \text{ mol}$$

$$\text{Jadi, } \Delta H \text{ untuk pembakaran } 11,2 \text{ L } \text{C}_2\text{H}_2 = 0,5 \times (-1305) = -652,5 \text{ kJ. (C)}$$

UNAS 2004



b. Menggunakan Data Energi Ikatan

Nilai energi ikatan rata-rata dapat digunakan untuk menghitung perubahan entalpi suatu reaksi. Bagaimana caranya? Menurut Dalton, reaksi kimia tiada lain berupa penataan ulang atom-atom. Artinya, dalam reaksi kimia terjadi pemutusan ikatan (pada pereaksi) dan pembentukan kembali ikatan (pada hasil reaksi).

Untuk memutuskan ikatan diperlukan energi. Sebaliknya, untuk membentuk ikatan dilepaskan energi. Selisih energi pemutusan dan pembentukan ikatan menyatakan perubahan entalpi reaksi tersebut, yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \sum D_{\text{(pemutusan ikatan)}} - \sum D_{\text{(pembentukan ikatan)}}$$

Dengan  $\Sigma$  menyatakan jumlah ikatan yang terlibat,  $D$  menyatakan energi ikatan rata-rata per mol ikatan.

### Contoh 3.13

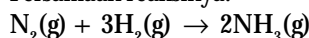
#### Menghitung $\Delta H$ dari Energi Ikatan Rata-Rata

Gunakan data energi ikatan rata-rata pada Tabel 3.2 untuk menghitung  $\Delta H$  reaksi pembentukan amonia dari unsur-unsurnya.

Jawab:

1. Tuliskan persamaan reaksi dan setarakan.
2. Tentukan ikatan apa yang putus pada pereaksi, dan hitung jumlah energi ikatan rata-rata yang diperlukan.
3. Tentukan ikatan apa yang terbentuk pada hasil reaksi, dan hitung jumlah energi ikatan rata-rata yang dilepaskan.
4. Hitung selisih energi yang terlibat dalam reaksi.

Persamaan reaksinya:



Ikatan yang putus pada pereaksi:

$$\text{N} \equiv \text{N} \quad 1 \text{ mol} \times 418 \text{ kJ mol}^{-1} = 418 \text{ kJ}$$

$$\text{H}-\text{H} \quad 3 \text{ mol} \times 432 \text{ kJ mol}^{-1} = 1296 \text{ kJ}$$

$$\text{Total energi yang diperlukan} = 1714 \text{ kJ}$$

Ikatan yang terbentuk pada hasil reaksi:

$$\text{N}-\text{H} \quad 2 \text{ mol} \times 386 \text{ kJ mol}^{-1} = 1158 \text{ kJ}$$

$$\text{Total energi yang dilepaskan} = 1158 \text{ kJ}$$

Perubahan entalpi reaksi pembentukan amonia:

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaksi}} &= D_{\text{pemutusan ikatan}} - D_{\text{pembentukan ikatan}} \\ &= 1.714 \text{ kJ} - 1.158 \text{ kJ} = 556 \text{ kJ} \end{aligned}$$

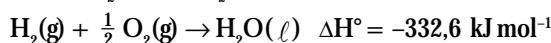
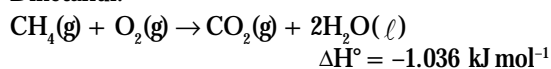
Oleh karena  $\Delta H$  positif maka pembentukan 2 mol amonia menyerap energi sebesar 556 kJ atau sebesar 278 kJ mol<sup>-1</sup>.

## Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

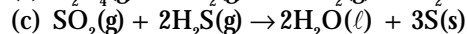
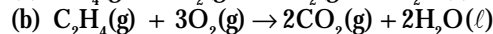
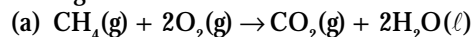
1. Kalor yang dilepaskan pada penguraian gas NO<sub>2</sub> ke dalam unsur-unsurnya pada keadaan standar adalah 33,2 kJ mol<sup>-1</sup>. Berapa perubahan entalpi standar pada pembentukan gas NO<sub>2</sub> dari unsur-unsurnya?
2. Gunakan hukum Hess untuk menentukan  $\Delta H$  reaksi:  
 $\text{C}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$
3. Diketahui:  
 $\text{C}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H^\circ_1 = -111 \text{ kJ}$   
 $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\ell) \quad \Delta H^\circ_2 = -128 \text{ kJ}$   
Gunakan hukum Hess untuk menghitung perubahan entalpi reaksi berikut:  $\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{g})$

Diketahui:

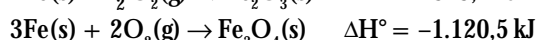


4. Diketahui  $\Delta H_f^\circ$ :  $\text{CH}_4(\text{g}) = -75 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\text{CO}_2(\text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\text{H}_2\text{O}(\ell) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) = 52 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\text{SO}_2(\text{g}) = -297 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\text{H}_2\text{S}(\text{g}) = 21 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

Hitung  $\Delta H^\circ$  untuk reaksi berikut.



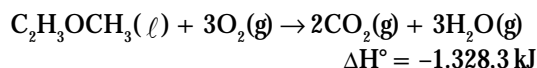
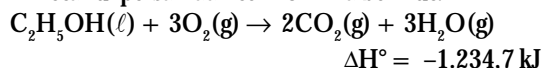
5. Nilai  $\Delta H^\circ$  untuk reaksi berikut:



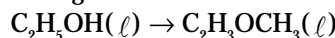
Gunakan data ini untuk menghitung  $\Delta H^\circ$  reaksi berikut:



6. Diketahui persamaan termokimia berikut:



Hitung  $\Delta H^\circ$  untuk reaksi:



7. Berapa energi ikatan rata-rata pada molekul  $\text{H}_2$ ,  $\text{HCl}$ , dan  $\text{I}_2$ ?
8. Berapa energi ikatan rata-rata dalam  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ , dan  $\text{C}_2\text{H}_4$ ?
9. Berapa energi ikatan rata-rata dalam molekul  $\text{N}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ?
10. Hitung  $\Delta H^\circ$  reaksi berikut dengan menggunakan Tabel 3.2.  
 $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
11. Gunakan data energi ikatan rata-rata untuk menghitung perubahan entalpi reaksi berikut:  
(a)  $\frac{1}{2} \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{Br}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HBr}(\text{g})$   
(b)  $\text{CH}_4(\text{g}) + 4\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CCl}_4(\text{g}) + 4\text{HCl}(\text{g})$
12. Etanol dapat dibuat melalui dua proses reaksi, yaitu:  
(a)  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\ell)$   
(b)  $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\ell) + \text{H}_2(\text{g})$   
Manakah yang lebih efisien secara energi?

## D. Kalor Bahan Bakar dan Sumber Energi

### 1. Nilai Kalor Bahan Bakar

Batubara, minyak bumi, dan gas alam merupakan sumber utama energi bahan bakar. Minyak tanah dan gas LPG biasa digunakan untuk memasak di rumah-rumah. Gasolin (terutama bensin) digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Bahan bakar untuk industri selain solar, juga digunakan batubara.

Dengan pengetahuan termokimia, Anda dapat membandingkan bahan bakar apa yang paling efektif dan efisien untuk digunakan sebagai alternatif sumber energi. Untuk mengetahui jenis bahan bakar yang efektif dan efisien sesuai kebutuhan, dapat dilakukan pengujian dengan cara membakar bahan bakar. Kalor yang dilepaskan dipakai memanaskan air dan kalor yang diserap oleh air dihitung.



### Aktivitas Kimia 3.2

#### Penentuan Kalor Reaksi Menggunakan Kalorimeter Sederhana

Tujuan

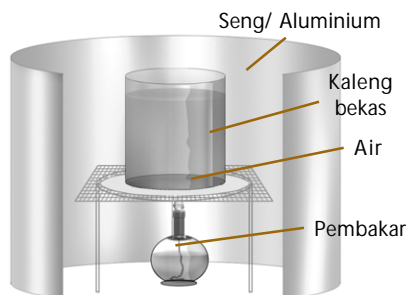
Menentukan kalor yang dilepaskan BBM

Alat

1. Kaleng bekas
2. Lembaran seng/aluminium
3. Pembakar
4. kaki tiga dan kasa

Bahan

1. Air ( $\text{H}_2\text{O}$ )
2. Alkohol
3. Minyak tanah
4. Bensin
5. Solar
6. Spiritus





#### Langkah Kerja

1. Sediakan kaleng bekas obat nyamuk dan potong bagian atasnya.
2. Sediakan lembaran seng atau aluminium dan dilipat seperti pipa atau kotak untuk menutupi pembakaran (berguna untuk mengurangi panas yang hilang akibat radiasi).
3. Susun alat-alat seperti gambar.
4. Masukkan 100 g air ke dalam kaleng bekas.
5. Masukkan 20 g bahan bakar yang akan diukur kalornya ke dalam pembakar.
6. Nyalakan pembakar dan tutup dengan kotak seng, agar panas yang terjadi tidak hilang.

BBM	$\Delta H$ (J g <sup>-1</sup> )	Volume BBM terbakar (mL)	Harga per Liter/ (Rupiah)
Alkohol			
Minyak Tanah			
Bensin			
Solar			
Spiritus			
LPG			

#### Pertanyaan

1. Hitung kalor yang diserap kaleng dan kalor yang diserap oleh air, kemudian hitung kalor yang dilepaskan oleh BBM.
2. Manakah yang lebih efektif dan efisien untuk keperluan di rumah?
3. Manakah yang lebih efektif dan efisien untuk keperluan kendaraan bermotor?

Efektivitas bahan bakar dapat dibandingkan berdasarkan jumlah kalor dengan volume yang sama. Pada volume yang sama, semakin besar jumlah kalor yang dilepaskan, semakin efektif bahan bakar tersebut untuk digunakan sesuai kebutuhan. Efisiensi bahan bakar dapat dibandingkan berdasarkan jumlah volume dan harga. Untuk volume yang sama, semakin murah harga BBM, semakin efisien BBM tersebut untuk digunakan sesuai kebutuhan. Namun, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan BBM. Aspek tersebut di antaranya keamanan dan kebersihan lingkungan.

Bensin tidak dapat digunakan untuk kebutuhan di rumah sebab bensin mudah menguap sehingga mudah terbakar, yang berdampak pada risiko keamanan. Minyak tanah tidak dapat digunakan untuk kendaraan bermotor sebab sukar terbakar dan bersifat korosif. Akibatnya, jika minyak tanah dipakai untuk kendaraan, mesin sukar dihidupkan dan cepat rusak. Di samping itu, akibat dari sukar terbakar dapat menimbulkan asap yang tebal dan berdampak pada pencemaran lingkungan.

## 2. Sumber Energi Baru

Bahan bakar minyak bumi, dan gas alam, masih merupakan sumber energi utama dalam kehidupan sekarang. Akan tetapi, hasil pembakarannya menjadi masalah besar bagi lingkungan. Di samping itu, sumber energi tersebut tidak terbarukan dan dalam beberapa puluh tahun ke depan akan habis. Berdasarkan permasalahan lingkungan dan tidak dapat diperbarunya sumber energi, para ilmuwan berupaya memperoleh sumber energi masa depan dengan pertimbangan aspek lingkungan, ekonomi, dan bahan dasar. Terdapat beberapa sumber energi potensial yang dapat dimanfaatkan di antaranya sinar matahari, reaksi nuklir (fusi dan fisi), biomassa tanaman, biodiesel, dan bahan bakar sintetis.

a. Energi Matahari

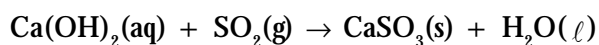
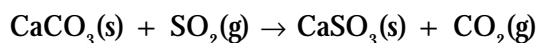
Pemanfaatan langsung sinar matahari sebagai sumber energi bagi rumah tangga, industri, dan transportasi tampaknya menjadi pilihan utama untuk jangka waktu panjang, dan sampai saat ini masih terus dikembangkan. Dengan menggunakan teknologi sel surya, energi matahari diubah menjadi energi listrik. Selanjutnya, energi listrik ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, baik kendaraan bertenaga surya maupun untuk peralatan rumah tangga.

b. Pemanfaatan Batubara

Deposit batubara di Indonesia masih cukup melimpah. Deposit terbesar berada di Pulau Kalimantan. Pada dasarnya, kandungan utama batubara adalah karbon dalam bentuk karbon bebas maupun hidrokarbon.

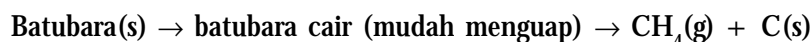
Batubara banyak dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar, baik dirumah tangga maupun industri. PLTU menggunakan batubara untuk menggerakkan turbin sebagai sumber energi arus listrik. Selain itu, batubara juga dimanfaatkan untuk pembuatan kosmetik dan compact disk (CD).

Kelemahan dari pembakaran batubara adalah dihasilkannya gas  $\text{SO}_2$ . Untuk menghilangkan gas  $\text{SO}_2$  dapat diterapkan proses desulfurisasi. Proses ini menggunakan serbuk kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) atau spray air kapur [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] dalam alat scrubers. Reaksi yang terjadi:

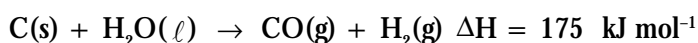


Namun, biaya operasional desulfurisasi dan pembuangan deposit padatan kembali menjadi masalah baru.

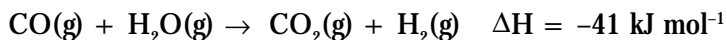
Untuk meningkatkan nilai dari batubara dan menghilangkan pencemar  $\text{SO}_2$ , dilakukan rekayasa batubara, seperti gasifikasi dan reaksi karbon-uap. Pada gasifikasi, molekul-molekul besar dalam batubara dipecah melalui pemanasan pada suhu tinggi ( $600^\circ\text{C} - 800^\circ\text{C}$ ) sehingga dihasilkan bahan bakar berupa gas. Reaksinya adalah sebagai berikut.



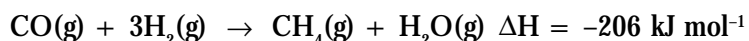
Arang yang terbentuk direaksikan dengan uap air menghasilkan campuran gas CO dan  $\text{H}_2$ , yang disebut gas sintetik. Reaksinya:



Untuk meningkatkan nilai gas sintetik, gas CO diubah menjadi bahan bakar lain. Misalnya, gas CO direaksikan dengan uap air menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2$ . Reaksinya:



Gas  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan selanjutnya dipisahkan. Campuran gas CO dan  $\text{H}_2$  yang telah diperkaya akan bereaksi membentuk metana dan uap air. Reaksinya:



Catatan Note

Batubara, minyak bumi, dan gas alam yang merupakan sumber energi utama, dikenal sebagai bahan bakar fosil.

Coal, petroleum, and natural gas, which are major sources of energy are known as fossil fuels.



Setelah H<sub>2</sub>O diuapkan, akan diperoleh CH<sub>4</sub> yang disebut gas alam sintetis. Dengan demikian, batubara dapat diubah menjadi metana melalui proses pemisahan batubara cair.

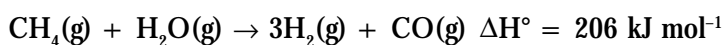
c. Bahan Bakar Hidrogen

Salah satu sumber energi baru adalah hasil reaksi dari gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Di laboratorium, reaksi ini dapat dilakukan dalam tabung eudiometer, yang dipicu oleh bunga api listrik menggunakan piezoelectric. Ketika tombol piezoelectric ditekan akan terjadi loncatan bunga api listrik dan memicu terjadinya reaksi H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Persamaan termokimianya:



Untuk jumlah mol yang sama, kalor pembakaran gas H<sub>2</sub> sekitar 2,5 kali lebih besar dari kalor pembakaran gas alam. Di samping itu, pembakaran gas H<sub>2</sub> menghasilkan produk ramah lingkungan (air).

Masalah yang mengemuka dari sumber energi ini adalah aspek ekonomi, terutama dalam biaya produksi dan penyimpanan gas H<sub>2</sub> serta transportasi gas H<sub>2</sub>. Walaupun gas hidrogen melimpah di alam, tetapi jarang terdapat sebagai gas H<sub>2</sub> bebas, melainkan bersenyawa dengan berbagai unsur. Untuk memperoleh sumber utama gas hidrogen, salah satunya adalah pengolahan gas metana dengan uap air:



Reaksi tersebut sangat endotermik sehingga pengolahan metana dengan uap air tidak efisien untuk memperoleh gas H<sub>2</sub> sebagai bahan bakar. Dengan kata lain, lebih ekonomis menggunakan metana langsung sebagai bahan bakar.

### 3. Sumber Energi Terbarukan

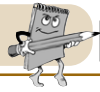
Apakah yang dimaksud sumber energi terbarukan? Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat diperbarui kembali, misalnya minyak kelapa sawit. Minyak kelapa ini dapat dijadikan sumber energi dan dapat diperbarui dengan cara menanam kembali pohon kelapa sawitnya.

Sumber energi terbarukan yang berasal dari tanaman atau makhluk hidup dinamakan bioenergi. Biodiesel adalah bahan bakar diesel (fraksi diesel) yang diproduksi dari tumbuh-tumbuhan. Salah satu sumber energi terbarukan adalah alkohol, yakni etanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O). Alkohol dapat diproduksi secara masal melalui fermentasi pati, yaitu pengubahan karbohidrat menjadi alkohol dengan bantuan ragi (enzim). Sumber karbohidrat dapat diperoleh dari buah-buahan, biji-bijian, dan tebu.



Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa mesin mobil yang menggunakan bahan bakar gasohol (campuran bensin dan etanol 10%) sangat baik, apalagi jika alkohol yang digunakan kemurniannya tinggi. Akan tetapi, alkohol sebagai bahan bakar kendaraan juga memiliki kendala, yaitu alkohol sukar menguap (T<sub>d</sub> = 79°C) sehingga pembakaran alkohol harus dilakukan pada suhu relatif tinggi atau dapat terbakar jika mesin kendaraan sudah panas.

## Kegiatan Inkuiri



Bakteri aerob maupun anaerob dapat dijadikan sumber energi listrik sebab perombakan limbah organik oleh bakteri melalui reaksi redoks. Buatlah suatu proyek ilmiah pembuatan energi listrik dari bakteri. Carilah data-data atau informasi di dalam media internet, media cetak, dan perpustakaan.

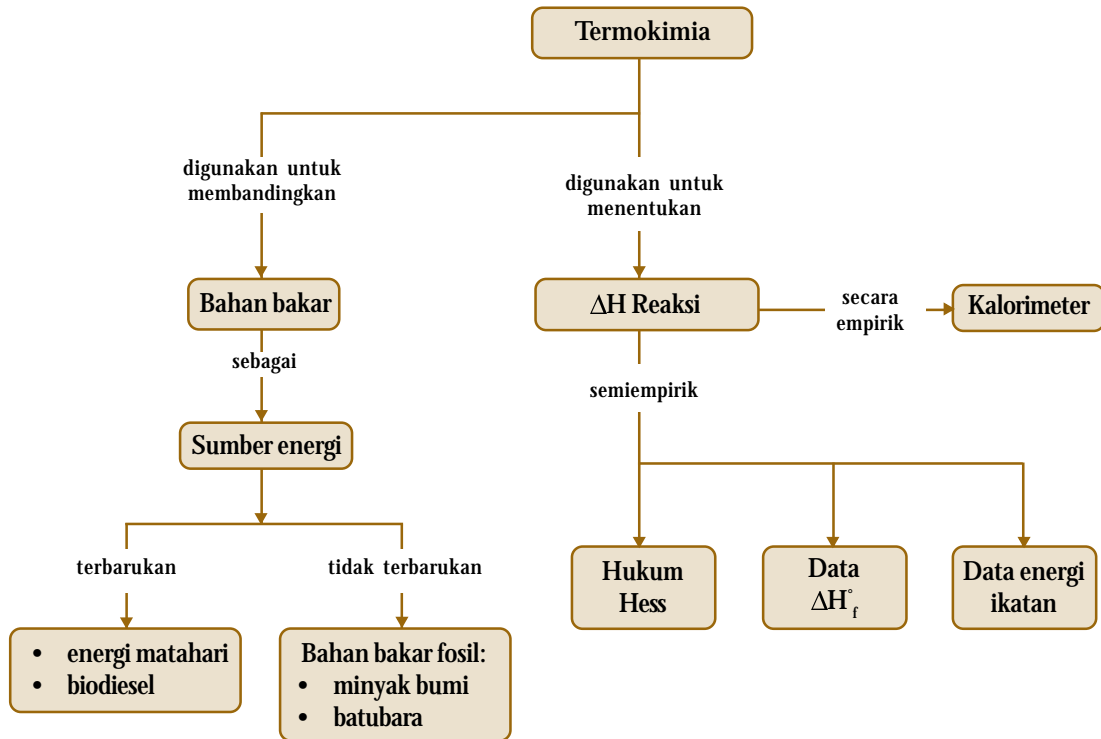
## Tes Kompetensi Subbab D

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah yang dimaksud dengan sel surya?
2. Jelaskan kembali proses gasifikasi batubara.
3. Jelaskan kembali bagaimana meningkatkan nilai jual gas sintetik menjadi gas alam sintetik.
4. Bandingkan efektivitas bahan bakar gas hidrogen, gas sintetik, dan gas metana ditinjau dari aspek kalor pembakaran yang terlibat.
5. Apakah yang dimaksud dengan sumber energi terbarukan?
6. Jika minyak kelapa sawit dijadikan sumber energi terbarukan, masalah utama adalah sukar terbakar, mengapa?

## Rangkuman

1. Entalpi merupakan fungsi keadaan, yakni hanya bergantung pada keadaan awal dan keadaan akhir, tidak bergantung proses reaksi.
2. Sistem adalah sesuatu yang didefinisikan sebagai pusat kajian, sedangkan lingkungan adalah segala sesuatu selain sistem. Sistem dan lingkungan dinamakan semesta.
3. Jika reaksi kimia melepaskan kalor dinamakan reaksi eksoterm, sedangkan jika reaksi yang menyerap kalor dikatakan reaksi endoterm.
4. Entalpi pembentukan standar adalah perubahan entalpi pembentukan 1 mol senyawa dari unsur-unsurnya pada 298K dan 1 atm.
5. Pengukuran  $\Delta H$  reaksi dapat dilakukan secara percobaan menggunakan kalorimeter, dengan cara mengukur suhu sebelum dan sesudah reaksi.
6. Senyawa yang tidak dapat ditentukan  $\Delta H^\circ$ -nya secara percobaan dapat dihitung menggunakan hukum Hess dan data  $\Delta H^\circ$  pembentukan.
7. Hukum Hess menyatakan bahwa perubahan entalpi hanya ditentukan oleh keadaan awal dan akhir, dan tidak bergantung pada proses reaksi.
8. Perhitungan perubahan entalpi reaksi dapat ditentukan berdasarkan data perubahan entalpi pembentukan standar.
9. Perubahan entalpi dapat ditentukan dari perubahan entalpi standar yang terdapat dalam handbook menggunakan rumus:  
$$\Delta H_{\text{Reaksi}}^\circ = \sum \Delta H_f^\circ(\text{Produk}) - \sum \Delta H_f^\circ(\text{Pereaksi})$$
10. Perubahan entalpi reaksi dapat juga ditentukan dari data energi ikatan rata-rata, melalui persamaan:  
$$\Delta H = \sum D_{(\text{pemutusan ikatan})} - \sum D_{(\text{pembentukan ikatan})}$$



### Refleksi

Pada bab termokimia ini, Anda telah mengetahui cara menentukan energi yang menyertai suatu reaksi kimia. Selain itu, Anda pun mengetahui reaksi-reaksi yang menghasilkan energi sehingga dapat digunakan untuk kepentingan manusia. Akan tetapi, penggunaan energi

secara tidak bijaksana dapat menimbulkan dampak negatif seperti meningkatnya polusi dan menipisnya cadangan energi. Jelaskan manfaat lainnya setelah mempelajari bab termokimia ini.

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.
- Energi yang terkandung dalam suatu materi disebut ....
    - kalor
    - entalpi
    - energi internal
    - energi potensial
    - energi kinetik
  - Energi yang berpindah dari satu materi ke materi lain disebut ....
    - kalor
    - kerja
    - entalpi
    - energi listrik
    - energi mekanik
  - Perpindahan energi dari satu keadaan ke keadaan lain pada tekanan tetap disebut ....
    - kalor
    - kerja
    - entalpi
    - energi potensial
    - energi kinetik
  - Logam besi dipanaskan dari 30°C sampai dengan 150°C. Jika berat besi 2 kg dan kalor jenis besi 0,5 J g<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>, kalor yang diperlukan adalah ....
    - 50 kJ
    - 70 kJ
    - 90 kJ
    - 120 kJ
    - 150 kJ
  - Sifat-sifat entalpi sebagai berikut, kecuali ....
    - kalor pada tekanan tetap
    - tidak dapat diukur selain perubahannya
    - energi yang menyertai reaksi kimia pada tekanan tetap
    - panas yang terkandung dalam suatu materi
    - perubahan energi pada tekanan tetap
  - Jika ingin mengetahui reaktivitas HCl pada besi, Anda masukkan logam besi ke dalam larutan HCl. Dalam hal ini yang disebut sistem adalah ....
    - larutan HCl
    - logam besi
    - pelarut air
    - HCl dan besi
    - udara sekitar
  - Di antara proses berikut yang merupakan proses endoterm adalah ....
    - awan mengembun
    - air menjadi es
    - agar-agar memadat
    - lelehan besi membeku
    - awan menjadi hujan
  - Reaksi eksoterm terdapat pada ....
    - Na(s) → Na(g)
    - Na(g) → Na<sup>+</sup>(g) + e<sup>-</sup>
    - NaCl(s) → Na<sup>+</sup>(g) + Cl<sup>-</sup>(g)
    - Cl<sub>2</sub>(g) → 2Cl(g)
    - Cl(g) + e<sup>-</sup> → Cl<sup>-</sup>(g)
  - Penulisan persamaan termokimia sesuai aturan yang berlaku adalah ....
    - H<sub>2</sub>(g) + O<sub>2</sub>(g) → H<sub>2</sub>O(g) ΔH = -x kJ
    - H<sub>2</sub>(g) + O<sub>2</sub>(g) → H<sub>2</sub>O(g) ΔH = -x kJ
    - 2H<sub>2</sub>(g) + O<sub>2</sub>(g) → 2H<sub>2</sub>O(g) ΔH = -x kJ
    - H<sub>2</sub>(g) + O<sub>2</sub>(g) → H<sub>2</sub>O(g)
    - H<sub>2</sub>(g) + O<sub>2</sub>(g) + energi → H<sub>2</sub>O(g)
  - Gas metana sebanyak 5,6 L dibakar pada keadaan STP. Reaksinya:
 
$$\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell) \Delta H = -294 \text{ kJ}$$
 Jumlah kalor yang dilepaskan adalah ....
    - 385 kJ
    - 73,5 kJ
    - 294 kJ
    - +385 kJ
    - +73,5 kJ
  - Pembakaran satu mol gas metana mengikuti persamaan termokimia berikut:
 
$$\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell) \Delta H = -294 \text{ kJ}$$
 Jumlah perubahan entalpi untuk reaksi kebalikannya adalah ....
    - 147 kJ
    - 294 kJ
    - 588 kJ
    - +147 kJ
    - +294 kJ
  - Pembakaran 100 mL bensin melepaskan kalor sebesar 275 kJ. ΔH untuk pembakaran 1 liter adalah ....
    - 275 kJ
    - 2750 kJ
    - 2,75 kJ
    - +275 kJ
    - +2750 kJ
  - Penguapan es kering (CO<sub>2</sub> padat) menyerap kalor 50 J. Jika pencairan es kering membutuhkan kalor 15 J, jumlah kalor yang diserap oleh CO<sub>2</sub> cair agar menguap adalah ....
    - 15 J
    - 35 J
    - 50 J
    - 65 J
    - 100 J
  - Alat yang dapat digunakan untuk mengukur kalor reaksi adalah ....
    - kalor jenis
    - kalorimeter
    - termometer
    - termokopel
    - entalpimeter
  - Diketahui kalor jenis air 1 kal g<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>. Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 50 g air dari 20°C menjadi 60°C adalah ....
    - 1 kkal
    - 2 kkal
    - 10 kkal
    - 20 kkal
    - 40 kkal
  - Dalam kalorimeter, 50 g air dingin (25°C) dicampur dengan 50 g air panas (65°C), dan suhu campuran 45°C. Jika tidak ada kalor yang hilang, jumlah kalor yang dilepaskan air panas adalah .... (Diketahui kalor jenis air = 4 J g<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>)
    - 3 kJ
    - 4 kJ
    - 10 kJ
    - 15 kJ
    - 25 kJ



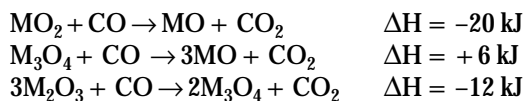
Perhatikan penjelasan berikut untuk menjawab soal nomor 17 dan 18.

Dalam kalorimeter, 50 g air dingin (30°C) dicampur dengan 50 g air panas (70°C), dan suhu campuran 45°C. Diketahui kalor jenis air =  $4 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1}$ .

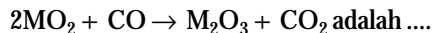
17. Jumlah kalor yang diserap oleh kalorimeter adalah ....  
 A. 0,5 kJ                      D. 3,0 kJ  
 B. 1,0 kJ                      E. 5,0 kJ  
 C. 2,0 kJ
18. Jika suhu kalorimeter naik sebesar 10°C, jumlah kapasitas kalor kalorimeter ( $C_k$ ) adalah ....  
 A. 50 J                          D. 300 J  
 B. 100 J                        E. 500 J  
 C. 200 J
19. Ebtanas 1996:  
 Pada kalorimeter 100 mL, NaOH 5% direaksikan dengan 100 mL HCl 10%. Tercatat suhu naik dari 298K menjadi 303K. Jika kalor jenis larutan =  $4 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$  dan massa jenis larutan =  $1 \text{ g mL}^{-1}$  maka  $\Delta H$  reaksi tersebut adalah ....  
 A. +2 kJ                        D. -2 kJ  
 B. +4 kJ                        E. -4 kJ  
 C. -8 kJ
20. Pada kalorimeter, 0,1 g logam Na dimasukkan ke dalam 100 g air. Tercatat suhu naik dari 300K menjadi 350K. Jika kalor jenis larutan  $4,0 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$  dan kapasitas kalor kalorimeter  $0 \text{ J K}^{-1}$ , jumlah  $\Delta H$  reaksi tersebut adalah ....  
 A. +20 kJ                      D. -20 kJ  
 B. +40 kJ                      E. -40 kJ  
 C. -80 kJ
21. Jika sebanyak 10 g  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dilarutkan dalam 50 g air dalam kalorimeter, suhu larutan turun dari 25°C menjadi 20°C. Jika diketahui kalor jenis larutan  $4 \text{ J g}^{-1} \text{ C}^{-1}$ , jumlah kalor pelarutan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  adalah ....  
 A. +1,2 kJ                      D. -1,2 kJ  
 B. +2,0 kJ                      E. -5,0 kJ  
 C. +5,0 kJ
22. Persamaan berikut yang termasuk reaksi pembentukan standar adalah ....  
 A.  $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$   
 B.  $\text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{PCl}_5(\text{g})$   
 C.  $\frac{1}{2} \text{I}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HI}(\text{g})$   
 D.  $\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_3(\text{g})$   
 E.  $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$
23. Di antara reaksi berikut yang tergolong reaksi pernguraian standar adalah ....  
 A.  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g})$   
 B.  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightarrow \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$   
 C.  $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g})$   
 D.  $\text{SO}_3(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g})$   
 E.  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$

24. Di antara reaksi berikut yang tergolong pembakaran standar adalah ....  
 A.  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$   
 B.  $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$   
 C.  $2\text{C}_2\text{H}_6(\text{s}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$   
 D.  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_3(\text{g})$   
 E.  $4\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$
25. Di antara reaksi reaksi berikut yang menyatakan perubahan entalpi pembentukan CO adalah ....  
 A.  $\text{C}(\text{s}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g})$   
 B.  $\text{C}(\text{s}) + \text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g})$   
 C.  $2\text{C}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}(\text{g})$   
 D.  $\text{C}(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g})$   
 E.  $\text{C}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}(\text{g})$
26. Kalor pembentukan  $\text{CO}(\text{g})$  dan  $\text{COCl}_2(\text{g})$  masing-masing  $110 \text{ kJ mol}^{-1}$  dan  $223 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Perubahan entalpi standar untuk reaksi:  
 $\text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{COCl}_2(\text{g})$  adalah ....  
 A.  $-333 \text{ kJ mol}^{-1}$               D.  $-233 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 B.  $-113 \text{ kJ mol}^{-1}$             E.  $333 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 C.  $113 \text{ kJ mol}^{-1}$
27. Diketahui tahap-tahap reaksi sebagai berikut:  
 $\text{Mg} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgO} + \text{H}_2 \quad \Delta H = a \text{ kJ}$   
 $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} \quad \Delta H = b \text{ kJ}$   
 $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO} \quad \Delta H = c \text{ kJ}$   
 Menurut hukum Hess, hubungan antara a, b, dan c dinyatakan oleh persamaan ....  
 A.  $2a = c - 2b$               D.  $b = c + a$   
 B.  $a = b + c$                 E.  $2c = a + 2b$   
 C.  $2b = 2c + a$
28. Diketahui reaksi berikut:  
 $\text{C}(\text{s}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H = -a \text{ kJ}$   
 $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -b \text{ kJ}$   
 $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -c \text{ kJ}$   
 Menurut hukum Hess, hubungan antara a, b, dan c diberikan oleh persamaan ....  
 A.  $a = \frac{1}{2} b + c$               D.  $c = 2a + \frac{1}{2} b$   
 B.  $2a = c - b$                 E.  $2c = 2a + b$   
 C.  $\frac{1}{2} b = 2a + c$
29. UMPTN 1999/C:  
 Diketahui persamaan termokimia berikut:  
 $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \quad \Delta H = a \text{ kJ}$   
 $\text{NO}(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = b \text{ kJ}$   
 Nilai  $\Delta H$  reaksi:  $2\text{NO}(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  adalah ....  
 A.  $(a + b) \text{ kJ}$                 D.  $(a - 2b) \text{ kJ}$   
 B.  $(a + 2b) \text{ kJ}$               E.  $(2a + b) \text{ kJ}$   
 C.  $(-a + 2b) \text{ kJ}$

30. Jika diketahui:



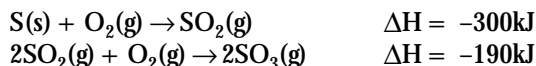
maka nilai  $\Delta H$  untuk reaksi:



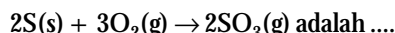
- A. -40 kJ                      D. -18 kJ  
B. -28 kJ                      E. +18 kJ  
C. -26 kJ

31. Ebtanas 1999:

Diketahui:



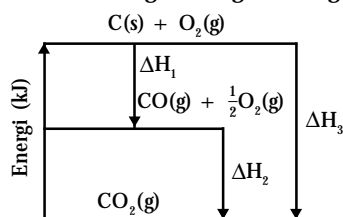
maka  $\Delta H$  untuk reaksi:



- A. +790 kJ                      D. -395 kJ  
B. +395 kJ                      E. -790 kJ  
C. -110 kJ

32. Ebtanas 2000:

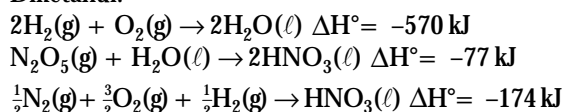
Perhatikan diagram tingkat energi berikut.



Berdasarkan diagram tersebut, 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.  $\Delta H_3 = \Delta H_2 - \Delta H_1$

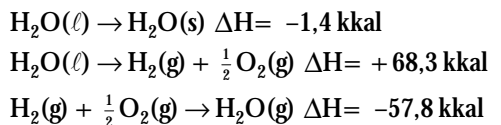
33. Diketahui:



Berdasarkan data tersebut, harga  $\Delta H_f^\circ$   $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$  adalah ....

- A. +14 kJ                      D. 14 kJ  
B. 822 kJ                      E. +57 kJ  
C. +28 kJ

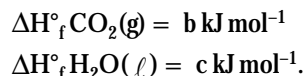
34. Diketahui:



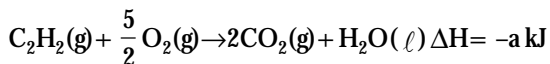
Perubahan entalpi ketika es menguap adalah ....

- A. +11,9 kkal                      D. -9,1 kkal  
B. -11,9 kkal                      E. +124,7 kkal  
C. +9,1 kkal

35. Diketahui:



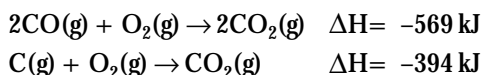
Jika  $\Delta H$  pembakaran asetilen menurut reaksi:



Maka  $\Delta H$  pembentukan asetilen adalah ....

- A.  $-a + 2b + c$                       D.  $+a + 2b + c$   
B.  $-a - 2b + c$                       E.  $+2a - 2b - c$   
C.  $+a - 2b - c$

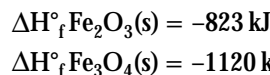
36. Jika diketahui reaksi:



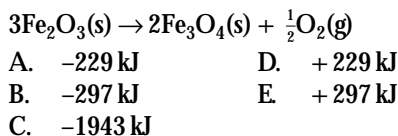
Besarnya  $\Delta H_f^\circ$  CO per mol adalah ....

- A. -109,5 kJ                      D. -284,5 kJ  
B. -175 kJ                      E. -372 kJ  
C. -219 kJ

37. Diketahui perubahan entalpi pembentukan standar:

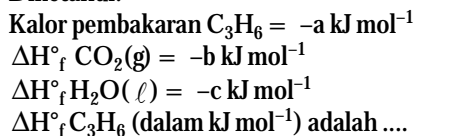


Besarnya  $\Delta H^\circ$  reaksi berikut adalah ....



38. UMPTN 1989/C:

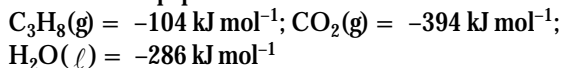
Diketahui:



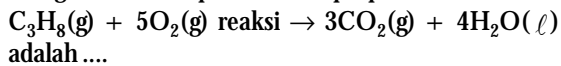
- A.  $a - 3b - 3c$                       D.  $a + 3b + 3c$   
B.  $a - 3b + 3c$                       E.  $-a + 3b + 3c$   
C.  $a + 3b - 3c$

39. Ebtanas 1997:

Jika data entalpi pembentukan standar:



Harga  $\Delta H$  untuk pembakaran propana:



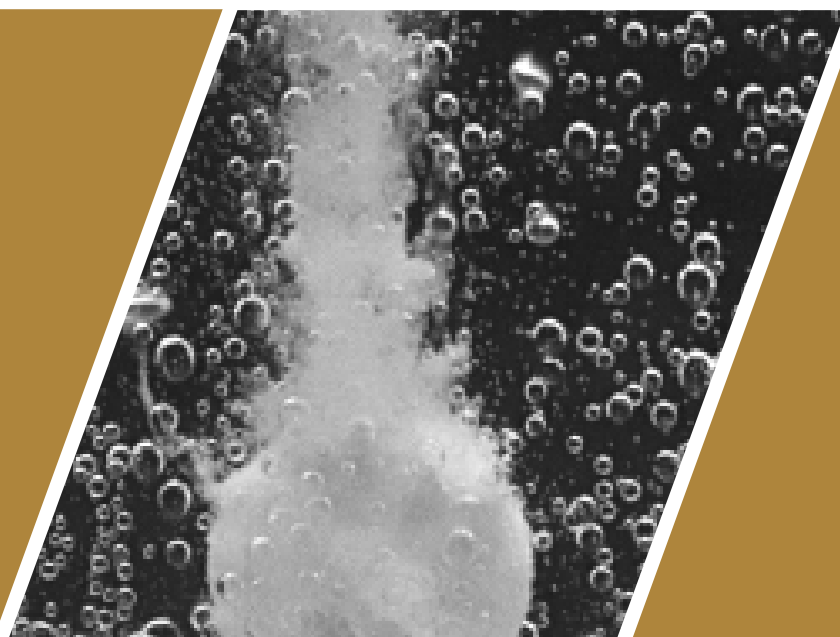
- A. -1.034 kJ                      D. -2.222 kJ  
B. -1.121 kJ                      E. -2.232 kJ  
C. -1.134 kJ

40. Jika  $\Delta H^\circ$  pembakaran  $\text{C}_4\text{H}_8(\text{g}) = x \text{ kJ mol}^{-1}$ ,  $\Delta H^\circ$  reaksi:  $2\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) \rightarrow \text{C}_4\text{H}_8(\text{g}) = y \text{ kJ mol}^{-1}$  maka  $\Delta H^\circ$  untuk pembakaran  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$  adalah ....

- A.  $(x+y)/2$                       D.  $(x/2) + y$   
B.  $(y-x)/2$                       E.  $2x - y$   
C.  $x + (y/2)$

41. Energi ikatan rata-rata untuk  $C \equiv C$ ;  $C=C$ ;  $C-C$ ;  $C-H$ ,  $H-H$  pada 298K masing-masing 835, 610, 346, 413, dan 436 dalam satuan  $\text{kJ mol}^{-1}$ . Harga (dalam  $\text{kJ mol}^{-1}$ ) untuk reaksi berikut:
- $$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{HC} \equiv \text{CH}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3(\text{g})$$
- adalah ....
- A. -665                      D. +665  
 B. -291                      E. +319  
 C. +291
42. Ebtanas 2000:  
 Diketahui energi ikatan rata-rata dari:  
 $C=C = 607 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $C-C = 343 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  
 $C-H = 410 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $C-Cl = 328 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  
 dan  $H-Cl = 431 \text{ kJ mol}^{-1}$ .  
 Perubahan entalpi dari reaksi:  
 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{H}-\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}(\text{Cl})-\text{CH}_3$   
 adalah ....
- A. +710  $\text{kJ mol}^{-1}$   
 B. +373  $\text{kJ mol}^{-1}$   
 C. +43  $\text{kJ mol}^{-1}$   
 D. -43  $\text{kJ mol}^{-1}$   
 E. -86  $\text{kJ mol}^{-1}$
- B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.
- Jelaskan bahwa sesuatu yang panas mengandung banyak kalor adalah konsep yang salah jika dihubungkan dengan konsep energi.
  - Apakah proses berikut eksoterm atau endoterm?
    - Jika padatan KBr dilarutkan dalam air, larutan yang diperoleh lebih dingin.
    - Gas  $\text{CH}_4$  dibakar dalam tungku udara-tekan.
    - Jika  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ditambahkan ke dalam air, larutan yang diperoleh sangat panas.
  - Reaksi berikut:  
 $\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$   
 merupakan tahap akhir dalam produksi asam sulfat secara komersial. Perubahan entalpi reaksi ini adalah -266 kJ. Untuk membangun industri asam sulfat, apakah perlu disediakan pemanasan atau pendinginan reaksi? Jelaskan.
  - Perubahan entalpi untuk reaksi berikut:  
 $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$   
 adalah -891 kJ. Hitung perubahan entalpi untuk:
    - 10 g metana dibakar dalam oksigen berlebih?
    - 10 L metana pada  $25^\circ\text{C}$  dan tekanan 2 atm dibakar dalam oksigen berlebih? ( $R = 0,0821 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )
  - Sebuah kalorimeter dikalibrasi dengan cara mencampurkan 50 g air panas ke dalam 100 g air dingin dalam kalorimeter yang dikalibrasi. Suhu awal air panas adalah  $83,5^\circ\text{C}$  dan suhu awal air dingin  $24,5^\circ\text{C}$ . Suhu akhir campuran adalah  $41,5^\circ\text{C}$ . Berapa harga kapasitas kalor kalorimeter jika kalorimeter mengalami kenaikan suhu sebesar  $5^\circ\text{C}$ . Kalor jenis air adalah  $4,184 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .
43. Jika proses penguraian  $\text{H}_2\text{O}$  ke dalam atom-atomnya memerlukan energi sebesar 220 kkal per mol maka energi ikatan rata-rata  $\text{O-H}$  adalah ....
- A. +220  $\text{kkal mol}^{-1}$     D. -110  $\text{kkal mol}^{-1}$   
 B. -220  $\text{kkal mol}^{-1}$     E. +55  $\text{kkal mol}^{-1}$   
 C. +110  $\text{kkal mol}^{-1}$
44. Energi ikatan rata-rata  $C-H$ ,  $C \equiv C$ ,  $H-H$ , masing-masing adalah  $415 \text{ kJ mol}^{-1}$ ,  $833 \text{ kJ mol}^{-1}$ , dan  $463 \text{ kJ mol}^{-1}$ .  $\Delta H$  untuk pembentukan  $\text{C}(\text{s}) \rightarrow \text{C}(\text{g})$  adalah  $715 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Berdasarkan data tersebut, kalor pembentukan gas etuna adalah ....
- A. -630  $\text{kJ mol}^{-1}$     D. -230  $\text{kJ mol}^{-1}$   
 B. +2529  $\text{kJ mol}^{-1}$     E. +230  $\text{kJ mol}^{-1}$   
 C. -1445  $\text{kJ mol}^{-1}$
45. Di antara reaksi berikut yang disertai perubahan entalpi yang besarnya sama dengan energi ikatan  $\text{H-I}$  adalah ....
- A.  $2\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$   
 B.  $\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{I}_2(\text{g})$   
 C.  $\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \text{H}^+(\text{g}) + \text{I}^-(\text{g})$   
 D.  $\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \frac{1}{2}\text{H}_2(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{I}_2(\text{s})$   
 E.  $\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \text{H}(\text{g}) + \text{I}(\text{g})$
- Dalam kalorimeter, 50 mL  $\text{AgNO}_3$  dan 50 mL  $\text{HCl}$  dicampurkan. Terjadi reaksi sebagai berikut.  
 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$   
 Jika kedua larutan pada saat pencampuran suhu awalnya sama  $25^\circ\text{C}$  dan suhu akhirnya  $27,5^\circ\text{C}$ . Hitung  $\Delta H$  reaksi. Kalor jenis larutan  $4 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . ( $\rho_{\text{larutan}} = 1,2 \text{ g mL}^{-1}$ )
  - Diketahui:  
 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HNO}_3(\text{aq})$      $\Delta H = -207 \text{ kJ}$   
 $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{HNO}_3(\text{aq})$      $\Delta H = +218 \text{ kJ}$   
 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$      $\Delta H = -286 \text{ kJ}$   
 Hitung  $\Delta H$  untuk reaksi berikut:  
 $2\text{N}_2(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$
  - Nilai  $\Delta H$  untuk reaksi:  
 $2\text{ZnS}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{ZnO}(\text{s}) + 2\text{S}(\text{g})$   
 adalah -290,8 kJ. Hitung nilai  $\Delta H$  untuk reaksi  
 $\text{ZnO}(\text{s}) + \text{S}(\text{s}) \rightarrow \text{ZnS}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$
  - Diketahui:  
 $\Delta_f^\circ \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 $\Delta_f^\circ \text{HCl}(\text{g}) = -92 \text{ kJ mol}^{-1}$   
 Hitunglah  $\Delta H$  untuk reaksi berikut.  
 $2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4 \text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
  - Gunakan data energi ikatan untuk meramalkan  $\Delta H$  pada reaksi berikut.
    - $\text{N}_2\text{F}_2(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{F}_4(\text{g})$
    - $\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2(\text{g})$
    - $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{H}_4(\text{g})$
    - $\text{HCN}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2(\text{g})$

# Bab 4



Sumber: *Chemistry The Central Science*, 2000

Reaksi tablet antara multivitamin dan air dapat diamati secara langsung.

## Kecepatan Reaksi

### Hasil yang harus Anda capai:

memahami kinetika reaksi, kesetimbangan kimia, dan faktor-faktor yang memengaruhinya, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan industri.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- mendeskripsikan pengertian laju reaksi dengan melakukan percobaan tentang faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi;
- memahami teori tumbukan (tabrakan) untuk menjelaskan faktor-faktor penentu laju dan orde reaksi, dan tetapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Salah satu kajian utama dalam ilmu Kimia setelah termodinamika (termokimia) dan struktur (bentuk molekul dan sifat-sifatnya) adalah kinetika reaksi (kecepatan reaksi). Jika dalam termokimia mempelajari hubungan energi dan reaksi maka kinetika mengkaji mekanisme reaksi (proses). Mekanisme reaksi sifatnya teoritis, yang perlu dibuktikan kebenarannya melalui kajian kecepatan reaksi. Kecepatan reaksi sendiri mengkaji hubungan antara reaksi dan waktu untuk menentukan orde reaksi. Berdasarkan orde reaksi ini, mekanisme suatu reaksi dapat diterima kebenarannya.

Apakah pengertian kecepatan reaksi? Faktor-faktor apa sajakah yang memengaruhi kecepatan reaksi? Apakah faktor-faktor penentu kecepatan dan orde reaksi? Anda bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut jika Anda mempelajari bab ini secara saksama.

- A. Kecepatan Reaksi**
- B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kecepatan Reaksi**
- C. Kecepatan Reaksi dan Tingkat Reaksi**
- D. Teori Tumbukan dan Energi Pengaktifan**
- E. Aplikasi Kecepatan Reaksi**

## Tes Kompetensi Awal

1. Apa yang Anda ketahui tentang kecepatan reaksi?
2. Tuliskan contoh reaksi yang berlangsung cepat dan reaksi yang berlangsung lambat.
3. Tuliskan contoh penerapan kecepatan reaksi pada kehidupan sehari-hari.

## A. Kecepatan Reaksi

Sifat-sifat suatu materi dapat dipelajari berdasarkan strukturnya (bentuk molekul). Besarnya energi yang terlibat dalam suatu reaksi dapat diketahui dari kajian termokimia. Bagaimana dengan tingkat reaksi? Berapakah lama waktu yang diperlukan oleh suatu reaksi? Ini hanya dapat diketahui dengan mempelajari kecepatan reaksi (*rate of reaction*).

### 1. Kemolaran (Konsentrasi Larutan)

Sebelum membahas kecepatan reaksi, terlebih dahulu Anda akan dikenalkan dengan satuan konsentrasi larutan yang digunakan dalam kecepatan reaksi. Satuan yang dimaksud adalah kemolaran. *Kemolaran adalah satuan konsentrasi larutan untuk menyatakan jumlah mol zat terlarut per liter larutan*, dilambangkan dengan M. Secara matematika, kemolaran dapat diungkapkan dengan persamaan berikut.

$$\text{Kemolaran larutan (M)} = \frac{\text{jumlah mol zat terlarut}}{\text{jumlah liter larutan}} = \frac{\text{mol}}{\text{liter}}$$

### Contoh 4.1

#### Menghitung Kemolaran Larutan

Sebanyak 58,5 g NaCl dilarutkan dalam air sehingga volume larutan menjadi 500 mL. Berapakah kemolaran larutan NaCl?  
Diketahui  $M_r \text{NaCl} = 58,5$

Jawab:

Ubah satuan berat (g) ke dalam mol, kemudian hitung kemolaran larutannya.

$$\text{Jumlah mol NaCl} = \frac{58,5 \text{ g}}{58,5 \text{ g mol}^{-1}} = 1 \text{ mol}$$

$$\text{Kemolaran larutan} = \frac{1 \text{ mol}}{500 \text{ mL}} \times \frac{1.000 \text{ mL}}{\text{liter}} = 2 \text{ mol L}^{-1}$$

Jadi, kemolaran larutan NaCl = 2 M.

Jika pembilang dan penyebut pada persamaan tersebut dibagi oleh faktor 1.000, nilai kemolaran larutan tidak berubah, tetapi satuannya yang berubah. Satuan mol/1.000 adalah milimol (mmol) dan satuan liter/1.000 adalah mililiter (mL). Jadi, kemolaran dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\text{Kemolaran} = \frac{\text{mol}}{\text{liter}} = \frac{\text{mmol}}{\text{mL}}$$

### 2. Pengertian Kecepatan Reaksi

Anda tentu pernah mendengar bom meledak atau besi berkarat. Ledakan bom berlangsung begitu cepat hingga orang-orang di sekitarnya tidak sempat menghindar. Sebaliknya, pengkaratan besi sukar diamati secara langsung disebabkan reaksinya berlangsung sangat lambat.

### Kata Kunci

- Kecepatan
- Variabel bebas
- Variabel kontrol
- Variabel terikat

Apakah yang dimaksud dengan kecepatan reaksi? Dalam ilmu Fisika (kinematika), Anda telah belajar kecepatan, yaitu perubahan jarak per satuan waktu,  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ . Dalam ilmu Kimia, *kecepatan reaksi* didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi molar pereaksi atau hasil reaksi per satuan waktu.

Jika Anda melakukan reaksi, akan tampak bahwa konsentrasi molar pereaksi berkurang, sedangkan konsentrasi molar hasil reaksi bertambah sampai semua pereaksi habis. Perubahan konsentrasi molar pereaksi dan hasil reaksi akan tampak seperti pada **Gambar 4.1** jika dialurkan ke dalam bentuk grafik. Baik pereaksi maupun hasil reaksi berubah secara eksponensial.

Perhatikan reaksi berikut.



Laju reaksinya dapat dinyatakan dalam rumus berikut.

$$\text{Kecepatan} = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = +\frac{\Delta[X]}{\Delta t}$$

$\Delta[A]$  dan  $\Delta[B]$  menyatakan perubahan konsentrasi molar pereaksi;  $\Delta[X]$  menyatakan perubahan konsentrasi molar hasil reaksi;  $\Delta t$  menyatakan rentang waktu reaksi. Tanda negatif menunjukkan bahwa konsentrasi pereaksi berkurang, tanda positif menunjukkan konsentrasi hasil reaksi bertambah.

Satuan untuk kecepatan reaksi yaitu kemolaran per satuan waktu ( $M s^{-1}$ ). Untuk sistem gas, kecepatan reaksi dapat dinyatakan dalam satuan tekanan parsial per satuan waktu, yaitu  $atm s^{-1}$  atau  $mmHg s^{-1}$ .

### 3. Jenis Perubahan Konsentrasi Reaksi per Satuan Waktu (*Rate of Reaction*)

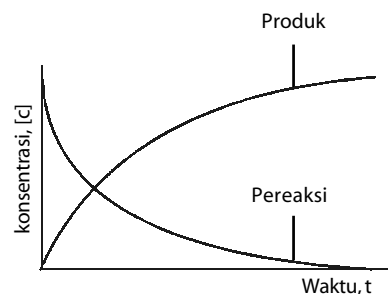
Dalam ilmu Fisika dikenal kecepatan (*velocity*) dan laju (*speed*). Dalam ilmu Kimia, juga dikenal dua jenis *rate of reaction*, yaitu laju reaksi dan kecepatan reaksi. **Laju reaksi** adalah *perubahan konsentrasi molar zat-zat yang bereaksi pada setiap waktu* (laju reaksi sesaat), sedangkan **kecepatan reaksi** adalah *perubahan konsentrasi molar zat-zat yang bereaksi pada selang waktu tertentu* (laju reaksi rata-rata).

Untuk dapat membedakan kecepatan reaksi dan laju reaksi, Anda dapat menyimak data hasil penguraian  $N_2O_5$  pada **Tabel 4.1**. Reaksinya:



**Tabel 4.1** Data Penguraian  $N_2O_5$

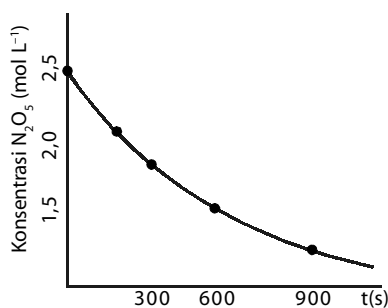
t(s, detik)	$N_2O_5$ Terurai ( $mol L^{-1}$ )	Laju Reaksi ( $mol L^{-1} s^{-1}$ )	Kecepatan Reaksi ( $mol L^{-1} s^{-1}$ )
0	2,33	$1,42 \times 10^{-3}$	$1,44 \times 10^{-3}$
180	2,07	$1,27 \times 10^{-3}$	
320	1,90	$1,17 \times 10^{-3}$	$1,07 \times 10^{-3}$
525	1,68	$1,02 \times 10^{-3}$	
860	1,35	$0,83 \times 10^{-3}$	$0,71 \times 10^{-3}$
1200	1,11	$0,68 \times 10^{-3}$	



**Gambar 4.1**

Kurva perubahan konsentrasi terhadap waktu.





**Gambar 4.2**  
Contoh kurva perubahan konsentrasi  $N_2O_5$  terhadap waktu.

### a. Laju Reaksi

Dalam ilmu Kimia laju reaksi memberikan informasi tentang perubahan konsentrasi reaksi setiap waktu. Perubahan konsentrasi pereaksi atau hasil reaksi dapat diukur setiap saat, misalnya setiap detik, setiap menit, setiap jam, dan seterusnya. Jika data pada **Tabel 4.1** diubah ke dalam bentuk grafik, laju reaksi membentuk kurva eksponensial (lihat **Gambar 4.2**).

### b. Kecepatan Reaksi

Reaksi penguraian  $N_2O_5$  dapat diungkapkan dalam bentuk kecepatan reaksi sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan} = -\frac{\Delta[x]}{\Delta t} = -\frac{[N_2O_5]_2 - [N_2O_5]_1}{t_2 - t_1}$$

Oleh karena konsentrasi pereaksi menurun sejalan dengan waktu maka  $\{[N_2O_5]_2 - [N_2O_5]_1\}$  berharga negatif, tetapi karena persamaan berharga negatif maka kecepatan reaksi menjadi positif. Simak **Tabel 4.1**, kecepatan reaksi antara rentang waktu ke-320 detik dan ke-525 detik dengan konsentrasi  $[N_2O_5]$  masing-masing 1,90 M dan 1,68 M sebagai berikut.

$$\text{Kecepatan} = -\frac{\Delta[N_2O_5]}{\Delta t} = -\frac{1,68\text{M} - 1,90\text{M}}{525\text{s} - 320\text{s}} = 1,07 \times 10^{-3} \text{ Ms}^{-1}$$

Kecepatan reaksi penguraian  $N_2O_5$  dan pembentukan  $O_2$  dapat dihubungkan melalui rasio stoikiometri.

Contoh:

Jika dua mol  $N_2O_5$  terurai membentuk satu mol  $O_2$  maka kecepatan penguraian  $N_2O_5$  dua kali pembentukan  $O_2$ . Untuk menyetarukannya, kecepatan penguraian  $N_2O_5$  harus dibagi dua.

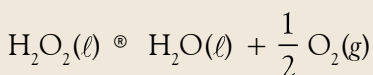
$$-\frac{\Delta[N_2O_5]}{2\Delta t} = \frac{\Delta[NO]}{4\Delta t} = \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t}$$

### c. Variabel-Variabel Kecepatan Reaksi

Untuk mengukur kecepatan reaksi, Anda harus menetapkan dulu variabel-variabel penyelidikannya, seperti variabel bebas (besaran yang akan diselidiki), variabel terikat (besaran yang bergantung pada variabel bebas), dan variabel kontrol (besaran yang harus dikendalikan).

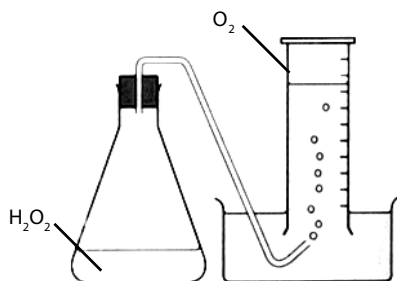
Contoh:

Anda berencana menyelidiki pengaruh suhu terhadap laju penguraian  $H_2O_2$ , contoh set alat percobaan dapat dilihat pada **Gambar 4.3**. Persamaan reaksinya:



Manakah variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrolnya?

Oleh karena Anda ingin mengetahui pengaruh suhu terhadap penguraian  $H_2O_2$  maka suhu ditetapkan sebagai variabel bebas. Dalam hal ini, Anda bebas menentukan suhu reaksi, misalnya reaksi dilakukan pada  $30^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$ , dan seterusnya. Besaran lainnya, seperti jumlah mol  $H_2O_2$  dan konsentrasi molar  $H_2O_2$  harus dikendalikan atau dibuat tetap. Besaran-besaran ini dinamakan sebagai **variabel kontrol**.



Sumber: Chemistry for You, 2002

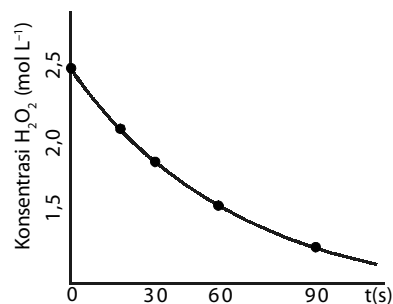
**Gambar 4.3**  
Percobaan sederhana untuk mengukur reaksi penguraian  $H_2O_2$  pada suhu kamar.

Bagaimana menentukan variabel terikat? *Variabel terikat* adalah besaran yang dapat diamati dan terukur, nilainya bergantung pada variabel bebas. Untuk dapat menentukan variabel terikat, Anda harus mengetahui jenis dan sifat reaksi yang terjadi agar dapat menentukan indikator terjadinya reaksi dan dijadikan sebagai variabel terikat.

Dalam reaksi kimia, ada beberapa fenomena yang dapat dijadikan indikator, seperti perubahan warna, perubahan suhu, pembentukan gas, dan pembentukan endapan. Dalam reaksi penguraian  $H_2O_2$ , terbentuk gas  $O_2$  maka pembentukan gas  $O_2$  dapat dijadikan sebagai indikator. Oleh karena indikator terjadinya reaksi berupa gas maka tekanan atau volume gas  $O_2$  dapat dijadikan variabel terikat.

Setelah semua variabel ditetapkan, selanjutnya Anda membuat tabel untuk menuliskan data hasil pengamatan (lihat **Tabel 4.2**). Dalam tabel tersebut, dapat juga dicantumkan konsentrasi  $H_2O_2$  terurai, yang ditentukan melalui perhitungan.

Untuk tujuan analisis, data tersebut dapat dikonversikan ke dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara waktu reaksi dan konsentrasi molar  $O_2$  yang terbentuk atau konsentrasi  $H_2O_2$  yang terurai seperti pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4.4**  
Contoh kurva penguraian  $H_2O_2$  pada  $40^\circ C$

**Tabel 4.2** Contoh Data Pengamatan Reaksi Penguraian  $H_2O_2$  pada  $40^\circ C$

t/detik	$V_{O_2}$ (mL)	$[H_2O_2]$
0	0	2,5 M
30	10	
60	18	
90	18	

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Tentukan kemolaran larutan NaOH, jika 25 g NaOH dilarutkan ke dalam 750 mL air? Diketahui  $M_r \text{ NaOH} = 40$ .
2. Berapakah berat  $MgCl_2$  yang terdapat dalam larutan  $MgCl_2$  0,5 M? Diketahui  $M_r \text{ MgCl}_2 = 95$ .
3. Dalam tabung LPG terdapat campuran gas alam. Jika volume gas dalam tabung 12 liter dan diketahui berat  $CH_4$  10 gram, berapakah kemolaran larutan  $CH_4$  dalam tabung LPG?
4. Jelaskan lagi apa yang dimaksud dengan kecepatan reaksi? Uraikan oleh Anda.
5. Gambarkan grafik secara kasar (sketsa) yang menunjukkan reaksi pembentukan  $H_2O$  dari unsur-unsurnya?
6. Jika Anda mereaksikan HCl 0,5 M dengan serbuk  $CaCO_3$ , perubahan apa yang dapat diukur untuk menentukan kecepatan reaksinya?
7. Reaksi ion bromida dan ion bromat dalam suasana asam mengikuti persamaan kimia berikut:  

$$5 Br(aq) + BrO_3(aq) + 6 H^+(aq) \rightarrow 3 Br_2(g) + 3 H_2O(l)$$
 Jika kecepatan pembentukan  $H_2O = 1,5 \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , berapa kecepatan penguraian ion bromida?
8. Tentukan variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol, jika Anda akan melakukan penyelidikan tentang pengaruh konsentrasi  $CaCO_3$  dalam reaksi  $CaCO_3$  dan HCl terhadap kecepatan reaksi.

## B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kecepatan Reaksi

Perubahan konsentrasi pereaksi per satuan waktu dapat dimanipulasi agar lebih cepat atau lebih lambat, bahkan reaksi dihentikan. Untuk melakukan manipulasi kecepatan reaksi, Anda perlu mengetahui faktor-faktor apa yang dapat memengaruhi kecepatan suatu reaksi. Faktor-faktor tersebut adalah konsentrasi pereaksi, luas permukaan zat-zat yang bereaksi, suhu reaksi, dan katalisator.

### 1. Konsentrasi Pereaksi

Jika dalam suatu reaksi, konsentrasi molar salah satu pereaksi diperbesar atau diperkecil, bagaimana pengaruhnya terhadap kecepatan reaksi? Untuk menjawab kasus ini, Anda dapat melakukan penyelidikan sebagai berikut.



### Aktivitas Kimia 4.1

#### Pengaruh Konsentrasi terhadap Kecepatan Reaksi

##### Tujuan

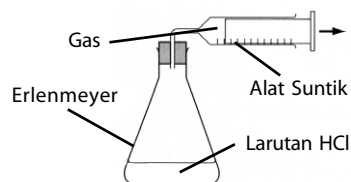
Mempelajari pengaruh konsentrasi terhadap kecepatan reaksi.

##### Alat

1. Erlenmeyer
2. Gabus
3. Timbangan
4. Gelas ukur 250 mL
5. Selang karet
6. *Stopwatch*
7. Alat suntik 20 mL

##### Bahan

3.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
4. Larutan HCl 0,5 M



##### Langkah Kerja

1. Susunlah peralatan seperti pada gambar.
2. Masukkan 100 mL HCl 0,5 M ke dalam erlenmeyer.
3. Masukkan 1 gram  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ke dalam erlenmeyer, segera tutup erlenmeyer dan mulailah menghitung waktu reaksi.
4. Hentikan pengukuran waktu setelah terkumpul 10 mL gas.
5. Ulangi percobaan dengan menggunakan 2 g, 3 g, dan 4 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
6. Masukkan data ke dalam tabel berikut.

Berat $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (gram)	Konsentrasi $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (M)	Waktu
1.	.....	.....
2.	.....	.....
3.	.....	.....

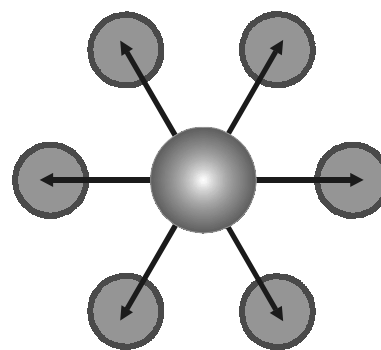
##### Pertanyaan

1. Apakah yang dapat dijadikan indikator reaksi?
2. Apakah yang menjadi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol pada reaksi?
3. Komposisi manakah yang membebaskan 10 mL gas tercepat?
4. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan ini? Diskusikan dengan teman sekelas Anda.

## 2. Luas Permukaan Sentuh

Apakah yang dimaksud dengan luas permukaan? Untuk mengetahui ini, Anda dapat mencitrakan luas permukaan bola. Berbeda dengan luas permukaan bola, yang dimaksud dengan luas permukaan dalam reaksi kimia adalah luas permukaan zat-zat pereaksi yang bersentuhan untuk menghasilkan reaksi (perhatikan Gambar 4.5).

Dalam reaksi kimia, tidak semua luas permukaan zat yang bereaksi dapat bersentuhan hingga terjadi reaksi, hal ini bergantung pada bentuk partikel zat-zat yang bereaksi. Untuk mengetahui pengaruh luas permukaan pereaksi suatu zat padat terhadap kecepatan reaksi dapat dilakukan penyelidikan berikut.



**Gambar 4.5**  
Bidang sentuh butiran zat padat dalam larutan.



### Aktivitas Kimia 4.2

#### Pengaruh Luas Permukaan terhadap Kecepatan Reaksi

##### Tujuan

Mempelajari pengaruh konsentrasi terhadap kecepatan reaksi.

##### Alat

1. Gelas Kimia 500 mL
2. Gelas ukur 250 mL
3. *Stopwatch*
4. Timbangan
5. Pisau
6. Batang pengaduk

##### Bahan

1. Kapur tulis ( $\text{CaCO}_3$ )
2. Larutan HCl 0,5 M

##### Langkah Kerja

1. Masukkan masing-masing 250 mL HCl 0,5 M ke dalam dua gelas kimia.
2. Ke dalam gelas kimia pertama masukkan 2 gram  $\text{CaCO}_3$  dalam bentuk batangan. Hitung waktu yang diperlukan agar semua  $\text{CaCO}_3$  larut.
3. Ke dalam gelas kimia kedua masukkan 25 gram  $\text{CaCO}_3$  yang telah dihaluskan (dipotong-potong). Hitung waktu yang diperlukan agar semua  $\text{CaCO}_3$  larut.

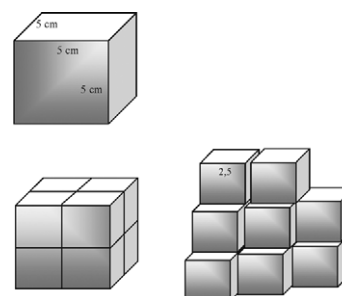
Massa $\text{CaCO}_3$	Waktu
Potongan	.....
Serpihan/serbuk	.....

##### Pertanyaan

1. Bentuk  $\text{CaCO}_3$  manakah yang luas permukaannya lebih besar?
2. Pada gelas manakah  $\text{CaCO}_3$  lebih mudah larut?
3. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan ini? Diskusikan dengan teman sekelas Anda.

Simak kubus pada Gambar 4.6 yang panjang sisinya 5 cm, kemudian Anda pecah-pecah menjadi delapan buah kubus dengan ukuran masing-masing sama, yaitu panjang sisinya 2,5 cm. Berapakah luas permukaan kubus sebelum dan sesudah dipecah-pecah?

Sebelum dipecah, luas permukaan kubus sebesar 6 muka  $\times$  luas muka ( $150 \text{ cm}^2$ ). Setelah dipecah menjadi 8 bagian, luas permukaan kubus menjadi 8 kubus  $\times$  6 muka  $\times$  luas muka ( $300 \text{ cm}^2$ ). Jadi, semakin kecil (halus) ukuran butiran zat padat, semakin besar luas permukaannya. Akibatnya, peluang untuk terjadinya reaksi semakin besar.



**Gambar 4.6**  
Untuk total volume yang sama, semakin kecil kubus semakin besar luas permukaannya.

## 3. Suhu Sistem Reaksi

Apakah suhu berpengaruh terhadap kecepatan reaksi? Untuk mengetahui hal ini, lakukanlah penyelidikan berikut.



## Mahir Menjawab

Di antara data kondisi reaksi berikut.

No.	Seng	[HCl]	Suhu
1	Serbuk	0,1 M	35
2	Serbuk	0,1 M	45
3	Lempeng	0,2 M	25
4	Serbuk	0,2 M	45
5	Lempeng	0,2 M	45

Manakah yang laju reaksinya paling rendah?

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

### Pembahasan

Laju reaksi dipengaruhi oleh faktor:

- luas permukaan: zat berupa serbuk lajunya semakin besar.
- konsentrasi: konsentrasi semakin tinggi lajunya semakin besar.
- suhu: suhu semakin tinggi lajunya semakin besar.

Jadi, laju reaksi paling rendah adalah zat yang berupa lempeng dengan suhu yang paling rendah. Jadi, jawabannya (C)

UNAS 2005



Sumber: Chemistry for You, 2002

Gambar 4.7

Reaksi yang terlalu lama dapat membosankan sehingga perlu ditambah katalis.

## Aktivitas Kimia 4.3

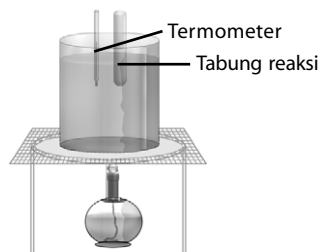
### Pengaruh Suhu Reaksi terhadap Kecepatan Reaksi

#### Tujuan

Mempelajari pengaruh suhu reaksi terhadap kecepatan reaksi.

#### Alat

1. Tabung reaksi
2. Pembakar spiritus/alkohol
3. Gelas kimia 500 mL
4. Gelas ukur 250 mL
5. Termometer
6. Kawat kassa
7. Kaki tiga dan kasa



#### Bahan

1. Larutan  $\text{KMnO}_4$  0,01 M
2. Larutan  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$  0,5 M
3. Air

#### Langkah Kerja

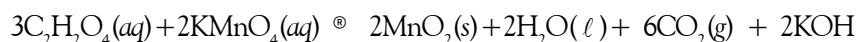
1. Panaskan 250 mL air dalam gelas kimia hingga  $30^\circ\text{C}$  (penangas air).
2. Dalam tabung reaksi, campurkan 5 mL larutan  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$  0,5 M dengan 1 mL larutan  $\text{KMnO}_4$  0,05 M.
3. Masukkan tabung reaksi tersebut ke dalam penangas air.
4. Amati perubahan yang terjadi dan catat semua data.
5. Ulangi percobaan menggunakan penangas air dengan suhu  $40^\circ\text{C}$  dan  $50^\circ\text{C}$ .

Suhu Uji ( $^\circ\text{C}$ )	Indikator Reaksi	Waktu Reaksi (detik)	Kecepatan Reaksi (kualitatif)
30	.....	.....	.....
40	.....	.....	.....
50	.....	.....	.....

#### Pertanyaan

1. Perubahan apakah yang terjadi dalam reaksi tersebut?
2. Pada percobaan tersebut, besaran apakah yang dapat dijadikan variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrolnya?
3. Dari ketiga reaksi, reaksi manakah yang memiliki kecepatan reaksi terbesar?
4. Jika data hasil percobaan Anda dibuat ke dalam grafik yang menyatakan hubungan suhu dan laju, perkirakan kecepatan reaksi pada suhu  $60^\circ\text{C}$ .
5. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan tersebut? Diskusikan dengan teman sekelas Anda.

Reaksi asam oksalat ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ ) dan  $\text{KMnO}_4$  merupakan reaksi redoks. Persamaan reaksinya:



Sebagai indikator terjadinya reaksi, dapat diukur dari pembentukan gas atau perubahan warna larutan  $\text{KMnO}_4$ , tetapi yang paling mudah diamati adalah perubahan warna dari ungu menjadi tidak berwarna.

Berdasarkan data hasil penyelidikan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu, reaksi berlangsung semakin cepat. Umumnya, kenaikan suhu  $10^\circ$  dapat mempercepat reaksi dua kali lipat.

## 4. Katalisator

Untuk mempercepat laju reaksi, dapat dilakukan dengan cara meningkatkan konsentrasi pereaksi atau suhu reaksi, tetapi kadangkala cara ini kurang efisien. Misalnya, sintesis gas  $\text{NH}_3$  dari gas  $\text{N}_2$  dan gas  $\text{H}_2$ , reaksi ini berlangsung pada suhu sekitar  $450^\circ\text{C}$ . Jika suhu terlalu rendah, reaksi berlangsung sangat lambat.

Reaksi pada suhu tinggi kurang menguntungkan secara ekonomi sebab memerlukan peralatan khusus dan pemeliharannya sukar. Adakah cara lain selain metode yang telah dibahas sebelumnya? Jawabannya ada, yaitu dengan menambahkan *katalisator*.

Apa dan bagaimana kerja katalis dalam mempercepat reaksi? *Katalis* adalah zat yang ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam suatu sistem reaksi untuk mempercepat reaksi. Pada akhir reaksi, katalis diperoleh kembali dalam bentuk zat semula. Katalis bekerja dengan cara turut terlibat dalam setiap tahap reaksi, tetapi pada akhir tahap, katalis terbentuk kembali.

Jika suatu campuran zat tidak dapat bereaksi, penambahan katalis pun tidak akan membuat reaksi terjadi. Dengan kata lain, katalis tidak dapat memicu reaksi, tetapi hanya membantu reaksi yang berlangsung lambat menjadi lebih cepat.

Katalis bekerja secara khusus. Artinya, tidak semua reaksi dapat dipercepat dengan satu macam katalis. Dengan kata lain, katalis bekerja hanya pada satu atau dua macam reaksi, tetapi untuk reaksi yang lain tidak dapat digunakan. Untuk mengetahui peranan katalis dalam mempercepat reaksi dapat dilakukan penyelidikan sebagai berikut.



### Catatan Note

Katalis adalah zat yang dapat meningkatkan kecepatan reaksi kimia tanpa ikut bereaksi.

*A catalyst is substance that increases the rate of a chemical reaction without itself being consumed.*



### Kata Kunci

- Katalis
- Katalis heterogen
- Katalis homogen

## Aktivitas Kimia 4.4



### Pengaruh Katalis terhadap Kecepatan Reaksi

#### Tujuan

Mempelajari pengaruh penambahan terhadap kecepatan reaksi penguraian  $H_2O_2$ .

#### Alat

1. Tabung reaksi
2. Gelas ukur 10 mL
3. Pipet tetes

#### Bahan

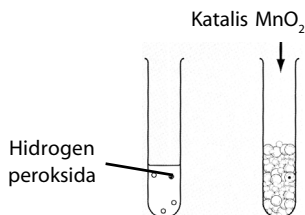
1. Larutan  $H_2O_2$  3%
2.  $MnO_2$
3. Larutan sabun

#### Langkah Kerja

1. Campurkan 4 mL larutan  $H_2O_2$  3% dan 1 tetes sabun cair ke dalam tabung reaksi. Kocok dan amati perubahan yang terjadi.
2. Lakukan seperti cara sebelumnya, sekarang tambahkan sedikit serbuk  $MnO_2$ . Amati perubahan yang terjadi.

#### Pertanyaan

1. Apakah terjadi perubahan setelah reaksi berlangsung? Apakah yang bisa dijadikan indikator berlangsungnya reaksi.
2. Bandingkan hasil pengamatan antara reaksi dengan  $MnO_2$  dan tanpa  $MnO_2$ . Manakah reaksi yang berlangsung lebih cepat?
3. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan tersebut?



## 5. Jenis Katalis

Berdasarkan jenis fasanya, katalis digolongkan ke dalam katalis homogen dan katalis heterogen. *Katalis homogen* adalah katalis yang memiliki fasa yang sama dengan pereaksi. *Katalis heterogen* adalah katalis yang berbeda fasa dengan pereaksi.

Katalis homogen bekerja melalui interaksi dengan partikel pereaksi membentuk keadaan transisi. Selanjutnya, keadaan transisi bergabung dengan pereaksi lain membentuk produk, dan setelah produk dihasilkan katalis melakukan regenerasi menjadi zat semula.



### Mahir Menjawab

Percobaan yang dilakukan untuk mempelajari kinetika kimia dari reaksi  $A+B \rightarrow C+D$ .

Memperhatikan hasil reaksi berikut:

Perc.	[A]	[B]	Laju
1	x	y	v
2	2x	2y	4v
3	4x	y	v
4	4x	4y	16v

Dari hasil percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa persamaan kecepatan reaksi yang sesuai adalah ....

- laju = k [A] [B]
- laju = k [A]<sup>2</sup> [B]
- laju = k [A] [B]<sup>2</sup>
- laju = k [A]<sup>1</sup>
- laju = k [B]<sup>2</sup>

#### Pembahasan

Mencari orde A, percobaan 1 dan 3

$$\frac{v}{v} = \left(\frac{x}{4x}\right)^m \Leftrightarrow \left(\frac{1}{4}\right)^m = 1$$

$$m = 0$$

mencari orde B, percobaan 3 dan 4

$$4^n = 16$$

$$n = 2$$

Jadi, persamaan kecepatan reaksinya:

$$v = k [B]^2$$

Jadi, jawabannya (E).

SPMB 2005





Katalis heterogen biasanya berupa padatan yang bekerja pada pereaksi berupa gas atau cairan, dan reaksi katalisis terjadi pada permukaan katalis. Untuk alasan ini, katalis biasanya dipecah-pecah menjadi butiran halus. Mengapa demikian? Coba jelaskan dengan kalimat sendiri.

## Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi pereaksi terhadap kecepatan reaksi berdasarkan teori tumbukan?
2. Suhu pada saat reaksi berlangsung memengaruhi kecepatan reaksi. Jelaskan.
3. Jika Anda minum obat sakit kepala dalam bentuk tablet, serbuk, atau sirup, manakah yang lebih cepat reaksi analgesiknya?
4. Mengapa Anda menyeduh kopi dalam bentuk serbuk tidak dalam bentuk bijihnya?
5. Manakah katalis homogen dan katalis heterogen pada reaksi berikut:
  - (a)  $\text{CO}(g) + 3\text{H}_2(g) \xrightarrow{\text{Ni}} \text{CH}_4(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$
  - (b)  $\text{NH}_2\text{NO}_2(aq) \xrightarrow{\text{OH}^-} \text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{NO}_2(g)$
  - (c)  $\text{KClO}_3(s) \xrightarrow{\text{MnO}_2} \text{KCl}(s) + \text{O}_2(g)$

## C. Kecepatan Reaksi dan Tingkat Reaksi

Persamaan kecepatan reaksi yang diungkapkan sebelumnya masih dalam bentuk persamaan diferensial, yaitu:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} \text{ atau } \frac{dx}{dt}$$

Persamaan ini dapat dinyatakan dalam bentuk sederhana yang menunjukkan hubungan kecepatan reaksi dan konsentrasi molar pereaksi.

### 1. Persamaan Kecepatan Reaksi

Berdasarkan hasil penyelidikan, diketahui bahwa kecepatan reaksi dipengaruhi oleh konsentrasi pereaksi. Semakin tinggi konsentrasi pereaksi, semakin cepat reaksi berlangsung. Bagaimana hubungan konsentrasi pereaksi dan kecepatan reaksi?

Jika terjadi reaksi:  $x\text{A} + y\text{B} \rightarrow z\text{C}$  maka kecepatan reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi pereaksi dipangkatkan dengan bilangan tertentu yang sama dengan koefisien reaksinya. Oleh karena itu, kecepatan reaksi tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$v = [\text{A}]^m [\text{B}]^n$$

atau

$$v = k [\text{A}]^m [\text{B}]^n$$

[A] dan [B] menyatakan konsentrasi molar pereaksi, k menyatakan tetapan kesetaraan, eksponen m dan n dinamakan orde atau tingkat reaksi.

Persamaan tersebut dinamakan *persamaan kecepatan reaksi* atau *hukum kecepatan reaksi*, yaitu persamaan yang menyatakan hubungan antara kecepatan reaksi dan konsentrasi molar pereaksi dipangkatkan tingkat reaksi atau orde reaksinya.

Tetapan kesetaraan (k) bergantung pada macam pereaksi dan suhu reaksi. Untuk reaksi yang sama, harga k tetap selama suhu reaksi tidak berubah. Jika suhu atau pereaksi berubah, harga k juga berubah.

### Catatan Note

Persamaan kecepatan reaksi selalu ditentukan secara eksperimen.

*Rate laws are always determined experimentally.*

Kecepatan reaksi digolongkan menurut tingkat reaksinya. Untuk reaksi tersebut, tingkat reaksi untuk zat A adalah m dan tingkat reaksi untuk B adalah n. Tingkat reaksi keseluruhan adalah (m + n).

Sebagaimana dinyatakan sebelumnya, tingkat reaksi tidak ada hubungannya dengan koefisien reaksi. Oleh karena itu, tingkat reaksi tidak dapat ditentukan dari koefisien reaksi, tetapi harus ditentukan dari hasil penyelidikan. Beberapa persamaan kecepatan dan tingkat reaksi yang diperoleh dari data hasil penyelidikan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Beberapa Persamaan Kecepatan Reaksi

Persamaan Reaksi	Persamaan Kecepatan	Orde Reaksi	Penjelasan
$2\text{NH}_3(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$	$v = k [\text{NH}_3]^0$	Nol	Laju reaksi tidak bergantung pada konsentrasi $\text{NH}_3$
$2\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	$v = k [\text{CO}_2]$	Satu	Koefisien reaksi $\neq$ orde reaksi
$2\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$	$v = k [\text{HI}]^2$	Dua	Koefisien reaksi = orde reaksi
$2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$v = k [\text{NO}]^2 [\text{H}_2]$	Tiga	Koefisien reaksi $\neq$ orde reaksi
$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_3(\text{g})$	$v = k [\text{SO}_2] [\text{O}_2]^{1/2}$	Satu setengah	Koefisien reaksi $\neq$ orde reaksi

## 2. Penentuan Persamaan Kecepatan Reaksi

Terdapat dua metode yang dapat dikembangkan untuk menentukan perubahan konsentrasi pereaksi per satuan waktu, yaitu metode diferensial dan metode integral. Metode diferensial berguna untuk menentukan tingkat reaksi, sedangkan metode integral berguna untuk mengevaluasi tingkat reaksi.

Metode integral didasarkan pada pengukuran reaksi setiap saat. Data yang terkumpul selanjutnya dievaluasi dengan persamaan integral yang dimodifikasi ke dalam bentuk grafik. Kemudian, ditentukan apakah reaksi tersebut tingkat satu, tingkat dua, atau tingkat tertentu. Mengingat metode integral memerlukan pemahaman matematika, khususnya integral yang memadai maka tidak diberikan di sini.

Metode diferensial disebut juga metode laju awal atau metode laju rata-rata. Metode ini didasarkan pada perubahan konsentrasi pereaksi dalam selang waktu tertentu. Dengan kata lain, metode diferensial adalah metode untuk menentukan tingkat reaksi atau kecepatan reaksi.

Dalam praktiknya, penentuan kecepatan reaksi didasarkan pada konsentrasi awal pereaksi yang berbeda secara beraturan, sedangkan selang waktu reaksi dibuat tetap. Simak reaksi berikut:  $\text{A} \rightarrow \text{produk}$ . Persamaan kecepatan reaksinya dapat ditulis:  $v = k [\text{A}]^x$ . Nilai x ditentukan dari hasil penyelidikan menggunakan metode laju awal. Untuk menentukan tingkat reaksi diperlukan sekurang-kurangnya tiga kali pengukuran dengan konsentrasi awal berbeda dalam selang waktu yang dibuat tetap. Data hasil pengukuran kemudian ditabulasikan ke dalam tabel, misalnya sebagai berikut.



Orde reaksi selalu ditentukan dari konsentrasi pereaksi (bukan konsentrasi produk).

*Reaction order is always defined in terms of reactant (not product) concentrations.*



Data percobaan untuk reaksi A+B  
 $\text{A} + \text{B} \rightarrow \dots$

No.	[A]	[B]	Laju
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

### Pembahasan

orde reaksi terhadap A (data 1,2)

$$\left(\frac{0,3}{0,1}\right)^x = \left(\frac{180}{20}\right)$$

$$3^x = 9$$

$$x = 2$$

orde reaksi terhadap B (data 1,3)

$$\left(\frac{0,2}{0,05}\right)^y = \left(\frac{320}{20}\right)$$

$$4^y = 16$$

$$y = 2$$

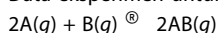
Jadi, jawabannya (B)

UNAS 2005



## Mahir Menjawab

Data eksperimen untuk reaksi:



Perc.	[A]	[B]	Laju
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

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa persamaan laju reaksinya adalah ...

- A.  $v = k [A]^2$
- B.  $v = k [B]$
- C.  $v = k [A] [B]$
- D.  $v = k [A] [B]^2$
- E.  $v = k [A]^2 [B]$

### Pembahasan

- Orde reaksi terhadap A, percobaan 4 dan 5

$$\left(\frac{2}{3}\right)^x = \frac{24}{54} = \frac{4}{9} = \left(\frac{2}{3}\right)^2 \Rightarrow x=2$$

- Orde reaksi terhadap B, percobaan 1 dan 2

$$\left(\frac{1}{2}\right)^y = \frac{6}{12} = \left(\frac{1}{2}\right)^1 \Rightarrow y=1$$

Persamaan laju reaksinya:

$$v = k \cdot [A]^2 [B]$$

Jadi, jawabannya (E).

UNAS 2005

## Kata Kunci

- Orde reaksi
- Persamaan kecepatan reaksi

Tabel 4.4 Contoh Data Hasil Pengukuran Kecepatan Reaksi Hipotetik  $A \rightarrow \text{Produk}$

Percobaan	[A] awal (mol L <sup>-1</sup> )	Waktu Reaksi (detik)	Kecepatan Reaksi (mol L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )
1	a	30	v
2	2a	30	4v
3	4a	30	16v

Setelah data ditabulasikan ke dalam tabel, selanjutnya masing-masing kecepatan dibandingkan, misalnya:  $\frac{v_1}{v_2}$ ,  $\frac{v_1}{v_3}$ , atau  $\frac{v_2}{v_3}$ .

Contoh:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{k[A]_1^x}{k[A]_2^x}$$

$$\left(\frac{v}{4v}\right) = \left(\frac{a}{2a}\right)^x \Rightarrow \left(\frac{1}{4}\right) = \left(\frac{1}{2}\right)^x \Rightarrow \left(\frac{1}{2}\right) = \left(\frac{1}{2}\right)^x \text{ atau } x = 2$$

Jadi, tingkat reaksinya sama dengan 2. Oleh karena itu, persamaan untuk kecepatan reaksi hipotetik di atas dapat ditulis sebagai:  $v = k [A]^2$ .

## Contoh 4.2

### Menentukan Persamaan Kecepatan Reaksi

Kalium iodida direaksikan dengan natrium hipoklorit menurut persamaan:



Pada setiap reaksi, konsentrasi awal KI dan NaClO diubah dan kecepatan reaksi diukur pada selang waktu tertentu. Hasilnya ditabulasikan ke dalam tabel:

Percobaan	[KI] <sub>0</sub> (mol L <sup>-1</sup> )	[NaOCl] <sub>0</sub> (mol L <sup>-1</sup> )	Kecepatan (M s <sup>-1</sup> )
1	0,12	0,18	$7,90 \times 10^{-2}$
2	0,06	0,18	$3,95 \times 10^{-2}$
3	0,12	0,09	$3,95 \times 10^{-2}$

Tentukan tingkat reaksi masing-masing pereaksi dan persamaan kecepatan reaksinya.

Jawab:

Persamaan kecepatan reaksinya adalah

$$v = k [KI]^x [NaClO]^y$$

Perhatikan percobaan ke-1 dan ke-2. Konsentrasi KI diturunkan dua kali, sementara konsentrasi NaClO dibuat tetap. Oleh karena [NaClO] tetap, NaClO tidak berpengaruh terhadap kecepatan reaksi.

Dengan demikian, percobaan ke-1 dan ke-2 dapat digunakan untuk menentukan tingkat reaksi KI.

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{3,95 \times 10^{-2} \text{ Ms}^{-1}}{7,90 \times 10^{-2} \text{ Ms}^{-1}} = \frac{k(0,06 \text{ M})^x}{k(0,12 \text{ M})^x}$$
$$\left(\frac{1}{2}\right) = \left(\frac{1}{2}\right)^x \text{ maka } x = 1$$

Jadi, tingkat reaksi terhadap KI adalah orde 1.

Tinjau percobaan ke-1 dan ke-4. Konsentrasi KI dibuat tetap, sementara konsentrasi NaClO diturunkan dua kali. Oleh karena itu, percobaan ke-1 dan ke-4 dapat digunakan untuk menentukan tingkat reaksi terhadap NaClO.

$$\frac{v_1}{v_4} = \frac{7,910 \times 10^{-2} \text{ Ms}^{-1}}{3,95 \times 10^{-2} \text{ Ms}^{-1}} = \frac{k(0,18 \text{ M})^y}{k(0,09 \text{ M})^y}$$
$$(2) = (2)^y \text{ maka } y = 1.$$

Jadi, tingkat reaksi terhadap NaClO adalah orde 1.  
 Dengan demikian, persamaan kecepatan untuk reaksi tersebut adalah  
 $v = k [KI] [NaClO]$   
 Tingkat reaksi keseluruhan adalah orde 2.

### Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

- Definisikan kembali, apakah yang dimaksud dengan hukum kecepatan dan tingkat reaksi?
- Apakah yang dimaksud dengan tetapan kesetaraan? Mengapa harga k untuk tiap reaksi berbeda? Jelaskan.
- Berapakah perubahan kecepatan reaksi jika konsentrasi pereaksi diperkecil menjadi empat kali lipat? Tingkat reaksinya: (a) orde pertama; (b) orde ketiga; (c) orde setengah.
- Amonium nitrit,  $NH_4NO_2$  terurai menurut persamaan berikut.  
 $NH_4NO_2(aq) \rightarrow N_2(g) + 2H_2O(l)$   
 Konsentrasi ion  $NH_4^+$  mula-mula sebesar 0,5M. Setelah tiga jam, ditemukan sebesar 0,432M. Berapakah kecepatan reaksi dalam satuan molar per detik?
- Diketahui reaksi:  $2NO(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2NOCl(g)$  diselidiki pada suhu  $-10^\circ C$  dan hasilnya ditabulasikan pada tabel berikut:
- Kalium iodida dioksidasi oleh natrium hipoklorit menjadi kalium hipiodit, dalam larutan basa. Persamaan kimianya:  
 $KI(aq) + NaClO(aq) \xrightarrow{OH^-} KIO(aq) + NaCl(aq)$   
 Untuk mempelajari oksidasi tersebut dilakukan metode laju awal. Data yang diperoleh ditabulasikan ke dalam tabel berikut:

Perc. Ke-	$[Cl_2]_0$ (mol L <sup>-1</sup> )			Kecepatan (mol L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )
	KI	NaClO	OH <sup>-</sup>	
1	0,01	0,02	0,01	$12,2 \times 10^{-2}$
2	0,02	0,01	0,01	$12,2 \times 10^{-2}$
3	0,01	0,01	0,01	$6,1 \times 10^{-2}$
4	0,01	0,01	0,02	$3,0 \times 10^{-2}$

Tentukan hukum kecepatan untuk reaksi tersebut dan tentukan juga nilai tetapan kecepataannya (k).

$[NO]_0$ (mol L <sup>-1</sup> )	$[Cl_2]_0$ (mol L <sup>-1</sup> )	Kecepatan (mol L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )
0,10	0,10	0,18
0,10	0,20	0,36
0,20	0,20	1,45

Tentukan persamaan kecepatan reaksinya.

## D. Teori Tumbukan dan Energi Pengaktifan

Mengapa kecepatan reaksi dipengaruhi oleh konsentrasi, suhu, katalis, dan luas permukaan zat-zat yang bereaksi? Semua ini dapat dijelaskan dengan teori tumbukan dan energi pengaktifan. Asumsi dasar teori tumbukan adalah bahwa suatu reaksi akan terjadi jika partikel-partikel pereaksi bertumbukan satu sama lain secara efektif.

### 1. Teori Tumbukan

Menurut teori tumbukan, kecepatan reaksi ditentukan oleh faktor frekuensi tumbukan efektif (f) dan orientasi tumbukan (p). Kedua faktor tersebut terkandung dalam tetapan pada kecepatan reaksi, yaitu:

$$k = p f$$

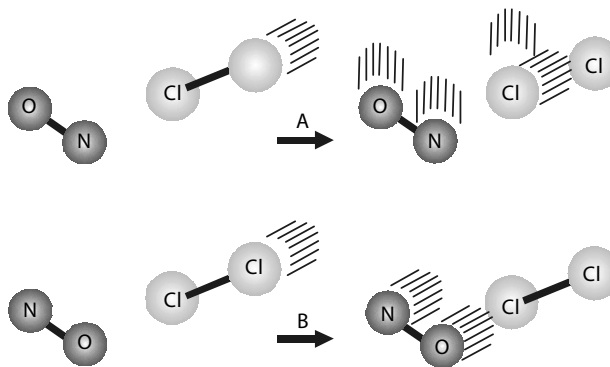
Oleh karena tetapan berbanding lurus dengan kecepatan reaksi maka faktor-faktor tersebut berbanding lurus dengan kecepatan reaksi. Dengan kata lain, jika frekuensi tumbukan tinggi maka kecepatan reaksi akan meningkat, sebaliknya jika frekuensi tumbukan rendah maka kecepatan reaksi akan menurun.

Frekuensi tumbukan dipengaruhi oleh konsentrasi pereaksi. Jika konsentrasi pereaksi diperbesar maka peluang untuk bertumbukan juga semakin besar. Akibatnya, tumbukan semakin sering terjadi sehingga reaksi berlangsung lebih cepat. Hal ini berhubungan dengan jumlah molekul, semakin tinggi konsentrasi, jumlah molekul semakin besar sehingga kemungkinan terjadi tumbukan efektif semakin besar.

Selain dipengaruhi konsentrasi, frekuensi tumbukan juga dipengaruhi suhu reaksi. Jika suhu reaksi dinaikkan, partikel-partikel pereaksi bergerak lebih cepat sehingga tumbukan lebih sering terjadi. Setiap kenaikan suhu  $10^\circ$  dapat meningkatkan frekuensi tumbukan sekitar 2%.

Faktor orientasi berhubungan dengan luas permukaan bidang sentuh zat-zat yang bereaksi. Orientasi yang tepat dari partikel-partikel pereaksi akan menghasilkan tumbukan yang efektif, seperti digambarkan pada reaksi antara NO dan  $\text{Cl}_2$  berikut.

**Gambar 4.8**  
Model representasi orientasi tumbukan.  
 $\text{N}=\text{O} + \text{Cl}-\text{Cl} \rightarrow \text{O}=\text{N}-\text{Cl} + \text{Cl}$   
Orientasi pada mekanisme A menghasilkan tumbukan efektif sehingga reaksi lebih mudah terjadi.



Pada **Gambar 4.8** menunjukkan bahwa mekanisme A, molekul NO dan  $\text{Cl}_2$  saling mendekat dengan orientasi atom N mengarah pada molekul  $\text{Cl}_2$ . Selain itu, sudut orientasi berada pada posisi pembentukan ikatan  $\text{O}=\text{N}-\text{Cl}$ . Orientasi seperti ini tepat untuk terjadinya reaksi. Sebaliknya, pada mekanisme B, molekul NO dan Cl saling mendekat dengan atom O mengarah pada molekul  $\text{Cl}_2$ . Oleh karena orientasinya tidak tepat untuk membentuk ikatan antara atom N dan Cl maka orientasi seperti ini tidak efektif untuk terjadinya reaksi.

## Kata Kunci

- Energi minimum
- Teori tumbukan

## 2. Energi Pengaktifan ( $E_a$ )

Molekul-molekul pereaksi selalu bergerak dan peluang terjadinya tumbukan selalu ada. Akan tetapi, tumbukan yang terjadi belum tentu menjadi reaksi jika energi yang dimiliki oleh masing-masing pereaksi tidak cukup untuk menghasilkan tumbukan efektif, meskipun orientasi molekul sudah tepat untuk menghasilkan tumbukan efektif.

Agar tumbukan antarmolekul pereaksi efektif dan menjadi reaksi maka fraksi molekul yang bertumbukan harus memiliki energi lebih besar daripada energi pengaktifan. Apakah energi pengaktifan itu?

**Energi pengaktifan** adalah energi minimum yang diperlukan untuk menghasilkan tumbukan efektif agar terjadi reaksi. Energi pengaktifan dilambangkan oleh  $E_a$ . Menurut Arrhenius, hubungan antara fraksi tumbukan efektif dan energi pengaktifan bersifat eksponensial sesuai persamaan berikut.

$$f = e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Keterangan:

$f$  = frekuensi molekul yang bertumbukan secara efektif

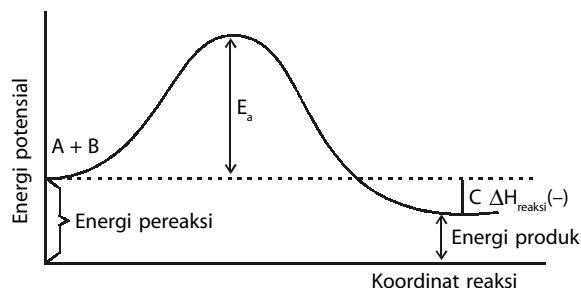
$R$  = tetapan gas

$E_a$  = energi pengaktifan

$T$  = suhu reaksi (K)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa reaksi dengan energi pengaktifan kecil memiliki harga  $f$  yang besar. Akibatnya, nilai tetapan laju ( $k$ ) besar dan reaksi berlangsung lebih cepat. Jika suhu dinaikkan, harga  $f$  menjadi besar dan tetapan laju ( $k$ ) juga besar sehingga reaksi berlangsung lebih cepat.

Energi pengaktifan untuk setiap reaksi (misalnya:  $A + B \rightarrow C$ ) umumnya memiliki bentuk grafik seperti pada **Gambar 4.9**. Pada **Gambar 4.9**, energi pengaktifan diungkapkan sebagai energi penghalang yang harus diatasi oleh setiap molekul pereaksi agar menjadi produk.

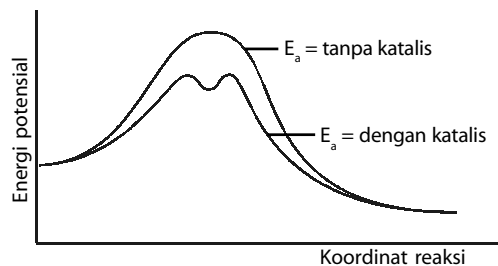


Jika Anda perhatikan grafik tersebut, energi pengaktifan ada hubungannya dengan perubahan entalpi reaksi. Dapatkah Anda menunjukkan hubungan tersebut? Apakah reaksinya eksoterm atau endoterm? Oleh karena energi hasil reaksi lebih rendah dari energi pereaksi maka nilai  $\Delta H$  untuk reaksi tersebut negatif. Dengan kata lain, reaksinya eksoterm. Sebaliknya, jika arah reaksi dibalikkan, yakni:  $C \rightarrow A + B$  maka produk reaksi ( $A + B$ ) memiliki energi lebih besar dari pereaksi  $C$ . Besarnya energi pengaktifan untuk reaksi kebalikannya,  $E_a(\text{balik}) = E_a(\text{maju}) + \Delta H_{\text{reaksi}}$ . Jadi, selisih energi pengaktifan untuk kedua reaksi adalah sebesar  $\Delta H_{\text{reaksi}}$ .

Pada pembahasan sebelumnya, Anda sudah mengetahui bahwa katalis dapat mempercepat reaksi dengan jalan turut serta dalam tahap-tahap reaksi dan pada akhir reaksi katalis diperoleh kembali. Bagaimana mekanisme kerja katalis dihubungkan dengan energi pengaktifan? Sebagaimana diuraikan sebelumnya, reaksi penguraian hidrogen peroksida akan lebih cepat jika pada reaksi ditambahkan katalis  $MnO_2$ . Persamaan reaksinya:

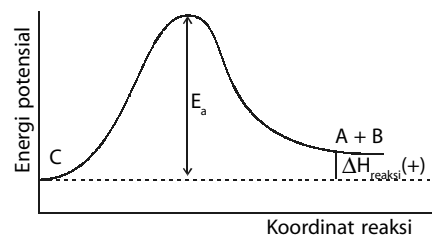


Kerja katalis dalam mempercepat reaksi adalah dengan cara membuat jalan alternatif (jalan pintas) bagi pereaksi dalam membentuk produk (perhatikan **Gambar 4.11**), yaitu dengan cara menurunkan energi pengaktifannya, seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.12** berikut.



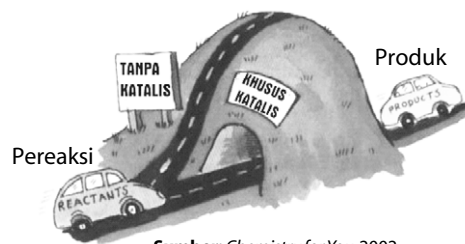
**Gambar 4.9**

Hubungan energi potensial dan koordinat reaksi. Agar suatu pereaksi dapat menjadi hasil reaksi, pereaksi harus memiliki energi yang dapat melampaui energi pengaktifan. Setiap reaksi memiliki nilai energi pengaktifan yang berbeda.



**Gambar 4.10**

Grafik energi untuk reaksi kebalikan:  $C \rightarrow A + B$



**Gambar 4.11**

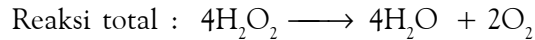
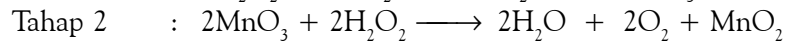
Katalis memberikan jalan alternatif sehingga reaksi dapat berlangsung lebih cepat.

**Gambar 4.12**

Mekanisme reaksi yang ditempuh oleh katalis adalah dengan cara menurunkan energi pengaktifan reaksi.



Jalan atau tahap-tahap reaksi yang ditempuh oleh pereaksi menjadi hasil reaksi dapat dijelaskan. Misalnya, reaksi penguraian  $\text{H}_2\text{O}_2$  dengan katalisator  $\text{MnO}_2$  adalah sebagai berikut.



Katalis dapat menurunkan energi pengaktifan reaksi, baik ke arah pereaksi maupun ke arah produk dengan selisih energi sama besar, tetapi  $\Delta H_{\text{Reaksi}}$  tidak berubah.

## Tes Kompetensi Subbab D

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

- Jelaskan pengaruh peningkatan konsentrasi pereaksi terhadap laju reaksi berdasarkan teori tumbukan.
- Bagaimanakah suhu berpengaruh terhadap kecepatan reaksi menurut teori tumbukan?
- Bagaimanakah luas permukaan dan orientasi tumbukan dapat dihubungkan?
- Tetapan laju untuk penguraian  $\text{N}_2\text{O}_5$  meningkat dari  $1,52 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  pada  $25^\circ\text{C}$  menjadi  $3,83 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  pada  $45^\circ\text{C}$ . Hitung energi pengaktifan untuk reaksi ini.
- Gambarkan diagram energi potensial untuk penguraian gas  $\text{N}_2\text{O}$ . Reaksinya:  

$$2\text{N}_2\text{O}(g) \rightleftharpoons 2\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g)$$
Diketahui: energi pengaktifan untuk reaksi tersebut adalah 251 kJ dan  $\Delta H^\circ$  adalah +167 kJ. Berapakah energi pengaktifan untuk reaksi kebalikannya?

## E. Aplikasi Kecepatan Reaksi

Semua proses kimia yang terjadi di alam maupun yang dikembangkan di industri memiliki kecepatan yang berbeda. Seringkali kecepatan reaksi ini tidak sesuai dengan keinginan manusia. Pada umumnya, manusia akan mempercepat reaksi-reaksi yang dianggap menguntungkan. Sebaliknya reaksi-reaksi yang merugikan diupayakan untuk diperlambat.

### 1. Peranan Luas Permukaan

Di Indonesia, banyak sekali industri-industri kecil, seperti industri keramik, batubata, dan penyaring zeolit. Pernahkah Anda berkunjung ke industri kecil pembuatan tembikar atau keramik tradisional? Untuk membuat keramik, bahan-bahan perlu dihaluskan dengan ukuran tertentu, disebut *mesh*. Ukuran material atau luas permukaan berperan penting dalam industri keramik. Jika luas permukaan sentuhan dari bahan keramik kecil atau butirannya kasar, akan terjadi rongga-rongga yang menyebabkan keramik mudah retak dan terjadi pengerutan.

Luas permukaan juga berperan penting pada pembuatan semen. Jika material semen semakin halus maka luas permukaan kontak semakin besar dan hasilnya menjadi padat dan kompak sehingga bangunan menjadi kuat.

Berbagai merek dagang jamu, umumnya dikemas dalam bentuk serbuk halus. Hal ini dimaksudkan agar pada saat diseduh, senyawa yang terkandung di dalam jamu mudah terekstrak dan mudah larut dalam air panas. Jika diminum akan cepat dicerna dan diserap oleh sistem pencernaan.

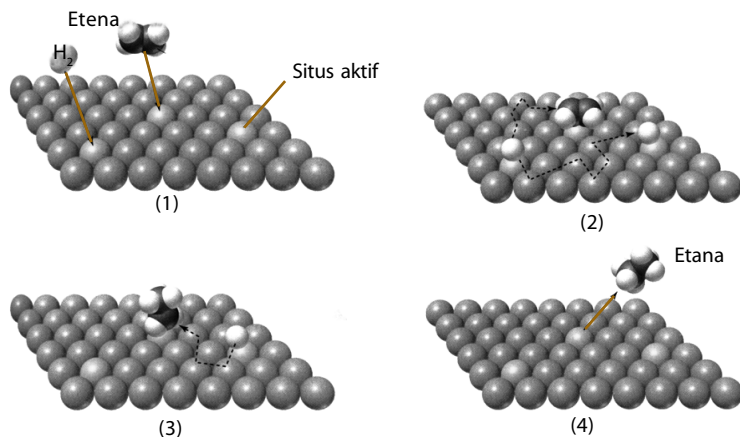
### 2. Peranan Katalis Heterogen

Umumnya, katalis heterogen dibuat dari unsur-unsur logam transisi sebab memiliki sifat pengadsorpsi gas yang baik. Sejumlah pereaksi berupa gas terkonsentrasi pada permukaan katalis heterogen dan reaksi berlangsung

pada permukaan katalis heterogen. Pada prinsipnya, mekanisme kerja katalis heterogen melibatkan empat tahap sebagai berikut:

1. adsorpsi pereaksi pada permukaan katalis heterogen;
2. migrasi pereaksi teradsorpsi pada permukaan katalis heterogen;
3. reaksi zat-zat teradsorpsi di permukaan katalis heterogen;
4. proses desorpsi hasil reaksi, produk reaksi meninggalkan permukaan katalis heterogen.

contoh mekanisme kerja katalis dapat dilihat pada **Gambar 4.13**.



Sumber: Chemistry The Central Science, 2000

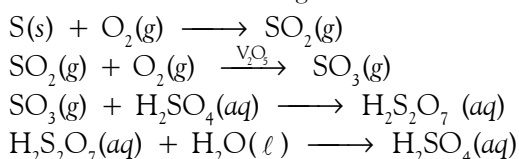
**Gambar 4.13**

Mekanisme kerja katalis heterogen pada hidrogenasi etena,  $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$

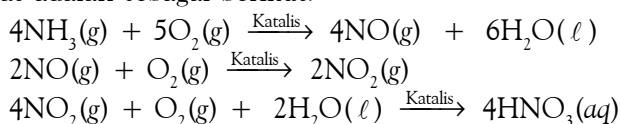
Dalam proses di industri, walaupun dimungkinkan menerapkan suhu tinggi untuk mempercepat reaksi, tetapi biaya operasional dan pemeliharaan akan sangat mahal. Oleh sebab itu, penggunaan katalis heterogen bagi industri kimia merupakan aspek yang sangat penting. Hampir semua industri kimia (nasional maupun internasional) menggunakan katalis heterogen di dalam prosesnya. Beberapa di antaranya adalah industri pembuatan amonia, asam sulfat, dan asam nitrat.

Pada sintesis amonia, katalis heterogen yang digunakan adalah besi(II) oksida dengan promotor ganda, yaitu penambahan sekitar 4% kalium oksida dan 0,8% aluminium oksida. Promotor ini berfungsi untuk meningkatkan aktivitas katalitik dari besi oksida. **Promotor** adalah bahan yang menjadikan katalis lebih efektif. Dalam katalis padat, sejumlah kecil promotor dapat menyebabkan pembentukan kerusakan kisi kristal, yang menimbulkan bagian aktif pada permukaan katalis.

Dalam industri asam sulfat yang dikembangkan melalui proses kontak, untuk mempercepat pembentukan gas  $SO_3$  dari gas  $SO_2$  dan gas  $O_2$  digunakan katalis vanadium(V) oksida ( $V_2O_5$ ). Tahap-tahap reaksi pembuatan asam sulfat sebagai berikut.



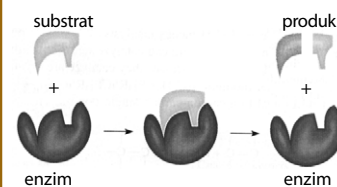
Dalam industri asam nitrat yang dikembangkan melalui proses Ostwald digunakan katalis Pt-Rh. Tahap-tahap reaksi pembuatan asam nitrat adalah sebagai berikut.



## Sekilas Kimia

### Enzim

Pada umumnya reaksi kimia berlangsung lebih cepat dalam suhu tinggi, tetapi bagaimana dengan reaksi yang berada dalam sel makhluk hidup? Dapatkah kita meningkatkan suhu reaksinya? Tentu tidak, untuk itu Tuhan telah melengkapi makhluk hidup dengan katalis biologi yang dikenal sebagai enzim. Enzim adalah molekul protein berukuran besar yang dapat meningkatkan kecepatan reaksi biokimia dengan faktor  $10^5$  sampai dengan  $10^{18}$ . Selain itu, enzim bekerja dengan sangat spesifik seperti anak kunci yang hanya cocok untuk kunci tertentu. Pada enzim terdapat situs aktif tempat berlangsungnya reaksi biokimia. Skema kerja enzim adalah sebagai berikut.



Sumber: Chemistry (Chang), 2004



## Sekilas Kimia

**Wilhelm Ostwald**  
(1853–1932)



Sumber: <http://nobelprize.org>

Wilhelm Ostwald lahir pada 2 September 1853 di Riga, Latvia. Ostwald dikenal sebagai salah seorang pendiri kimia fisik modern. Bidang penelitian utama Ostwald adalah katalis. Dia yang mengembangkan proses katalitik oksidasi amonia menjadi asam nitrat. Penelitian ilmiah ini yang membuatnya memperoleh hadiah nobel pada 1909. Sebagai penghargaan atas penelitiannya, sintesis asam nitrat dalam skala industri dinamakan proses Ostwald. Ostwald meninggal pada 4 April 1932 di kampung halamannya.

Pada proses pembakaran yang tidak sempurna, selain gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dihasilkan juga gas karbon monoksida (CO). Berbeda dengan CO<sub>2</sub>, karbon monoksida berbahaya bagi manusia karena bersifat racun sehingga perlu diubah menjadi senyawa yang lebih aman. Salah satu caranya adalah dengan mereaksikan CO dan H<sub>2</sub> menggunakan katalis.

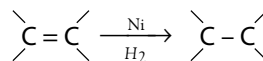
Beberapa jenis katalis yang digunakan pada reaksi antara gas CO dan H<sub>2</sub> dengan berbagai kondisi reaksi ditunjukkan pada **Tabel 4.5** berikut.

**Tabel 4.5** Beberapa Katalis untuk Reaksi CO dengan H<sub>2</sub>

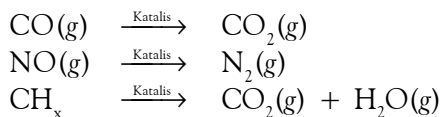
Katalis	Kondisi	Reaksi
Ni	100–200°C, 1–10 atm	CO + H <sub>2</sub> → CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O
ZnO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	400°C, 500 atm	CO + H <sub>2</sub> → CH <sub>2</sub> OH + H <sub>2</sub> O
CO, ThO <sub>2</sub>	190°C, 1–20 atm	CO + H <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , sampai C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
Ru	200°C, 200 atm	CO + H <sub>2</sub> → Hidrokarbon dengan massa molekul tinggi dan air
ThO <sub>2</sub>	400°C, 200 atm	CO + H <sub>2</sub> → Hidrokarbon rantai bercabang dan air

Sumber: *Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis*, 1989

Logam nikel dapat juga digunakan sebagai katalis dalam pembuatan mentega dari minyak nabati atau lemak takjenuh melalui proses hidrogenasi. Pada reaksi ini, ikatan-ikatan rangkap dua karbon (C=C) dalam lemak takjenuh diubah menjadi ikatan tunggal.



Katalis heterogen juga digunakan dalam konverter katalitik pada sistem pembuangan gas kendaraan bermotor seperti pada **Gambar 4.14**. Gas buang yang mengandung senyawa NO, CO, dan CH<sub>x</sub> dilewatkan melalui konverter yang berisi katalis padat.



Katalis tersebut mengakibatkan cepatnya perubahan CO menjadi CO<sub>2</sub>, CH<sub>x</sub> menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O, serta NO menjadi gas N<sub>2</sub>, yang semuanya relatif ramah lingkungan. Oleh karena sifat reaksi yang rumit dalam konverter, biasanya digunakan campuran katalis. Material katalitik yang efektif adalah oksida logam unsur transisi dan logam mulia seperti platina dan paladium.

Salah satu kendala dalam penggunaan katalis heterogen adalah hampir semua katalis *teracuni*. Maksudnya, pengotor-pengotor dalam pereaksi melapisi permukaan katalis atau memodifikasi permukaan katalis sehingga aktivitas katalitiknya berkurang.

Kerja katalis dapat dihambat oleh suatu inhibitor dengan cara mengikat katalis atau mengikat pereaksi. Contoh, bau tengik pada mentega disebabkan oleh adanya ion tembaga yang masuk ketika pengemasan. Ion tembaga ini berperan sebagai katalis sehingga mentega cepat teroksidasi. Bau tengik dapat dikurangi dengan menambahkan sejumlah kecil zat organik tertentu. Penambahan zat ini dapat mengikat ion tembaga sehingga efek katalitik dari ion tembaga hilang.



Sumber: *Chemistry The Central Science*, 2000

**Gambar 4.14**

Konverter katalitik yang dipakai pada kendaraan bermotor.

## Kegiatan Inkuiri



Lakukanlah studi literatur. Carilah berbagai penggunaan katalis dalam industri kimia dan kehidupan sehari-hari, meliputi jenis katalis, cara kerja katalis, reaksinya, dan aspek-aspek menarik lainnya.

## Tes Kompetensi Subbab E

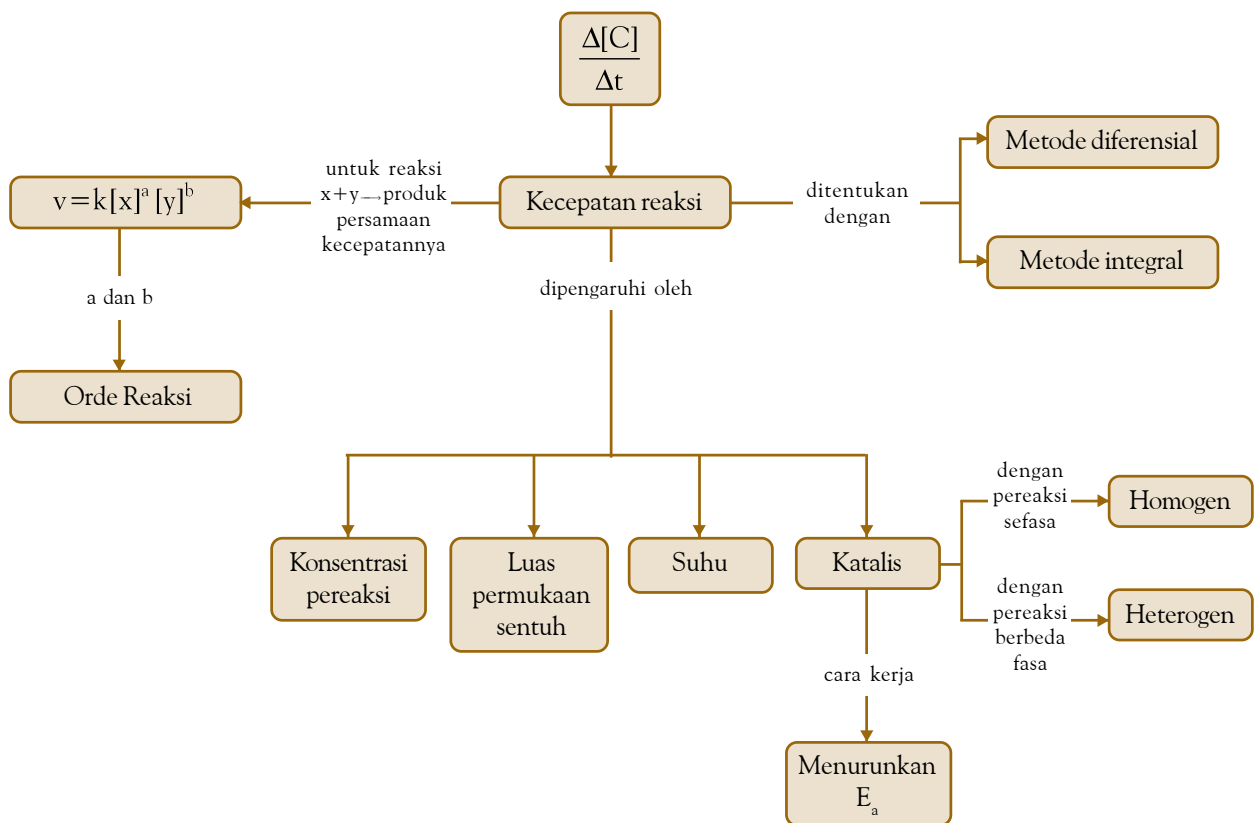
Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Di depot-depot penjualan air minum isi ulang terdapat modul-modul penyaring air berisi pasir aktif, karbon aktif, dan zeolit. Mengapa bahan-bahan tersebut berbentuk serbuk tidak berupa padatan kasar? Jelaskan.
2. Pada penjernihan minyak goreng agar tampak bening dilakukan penyaringan menggunakan bentonit. Bagaimana ukuran butiran bentonit agar hasilnya efektif.
3. Penggunaan katalis dapat mempercepat proses sintesis amonia, asam sulfat, dan asam nitrat. Katalis apa yang digunakan pada masing-masing proses?
4. Apa yang dimaksud dengan promotor? Bagaimana cara kerjanya?
5. Konverter katalitik pada kendaraan bermotor dapat mengakibatkan cepatnya perubahan gas CO, CH<sub>x</sub>, dan NO menjadi gas yang relatif ramah lingkungan. Tuliskan reaksi yang terjadi dan unsur apa yang digunakan sebagai konverter katalitik?

## Rangkuman

1. Kemolaran adalah satuan konsentrasi yang menyatakan jumlah mol per liter larutan.
2. Perubahan konsentrasi pereaksi atau produk per satuan waktu dinamakan kecepatan reaksi.
3. Ada dua macam kecepatan reaksi, yaitu laju reaksi rata-rata dan laju reaksi sesaat. Laju reaksi rata-rata disebut juga kecepatan reaksi.
4. Untuk mengukur kecepatan reaksi dapat dilakukan melalui pengukuran variabel terikat, variabel yang ingin diketahui dinamakan variabel bebas, sedangkan variabel yang lain dibuat tetap (variabel kontrol).
5. Ada beberapa faktor yang memengaruhi kecepatan reaksi, yaitu konsentrasi pereaksi, suhu, luas permukaan bidang sentuh, dan katalis.
6. Kecepatan reaksi dapat ditentukan dengan metode laju awal dan sederetan percobaan dilakukan dengan konsentrasi awal berbeda, sedangkan rentang waktu reaksi dibuat tetap.
7. Hukum laju reaksi adalah persamaan yang menunjukkan hubungan antara kecepatan reaksi dan konsentrasi pereaksi dipangkatkan orde reaksinya. Persamaan:  
$$v = k [X]^a [Y]^b [Z]^c$$
  
k adalah tetapan laju, [X], [Y], [Z] adalah konsentrasi pereaksi, dan a, b, c adalah orde reaksi.
8. Orde reaksi tidak ada hubungan dengan koefisien reaksi. Orde reaksi hanya dapat ditentukan melalui percobaan.
9. Menurut teori tumbukan, reaksi dapat terjadi jika partikel-partikel pereaksi bertumbukan secara efektif.
10. Energi pengaktifan adalah energi minimum yang harus dilewati oleh pereaksi agar terjadi reaksi.
11. Kerja katalis dalam meningkatkan laju reaksi adalah dengan turut terlibat dalam beberapa tahap reaksi, tetapi pada akhir reaksi katalis diregenerasi kembali.
12. Dalam hubungannya dengan energi pengaktifan, katalis berfungsi untuk menurunkan energi pengaktifan dengan cara membuat tahap-tahap reaksi yang memiliki energi pengaktifan rendah.
13. Katalis berperan penting dalam proses di industri kimia sebab dapat mempercepat produksi secara efektif dan efisien.

## Peta Konsep



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, Anda tentu telah mengetahui apa yang dimaksud dengan kecepatan reaksi, bagaimana cara menentukannya, dan faktor-faktor apa saja yang memengaruhinya.

Dengan demikian, Anda dapat menerapkannya dalam kehidupan sehari-hari, seperti penggunaan katalis heterogen (konverter katalitik) pada kendaraan

bermotor sehingga gas buangnya tidak membahayakan manusia dan lingkungan. Masih banyak lagi aplikasi atau penerapan kecepatan reaksi dalam kehidupan manusia, dapatkah Anda menyebutkan salah satunya?

## Evaluasi Kompetensi Bab 4

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.

- Kemolaran larutan yang dibuat dari 4 g NaOH dalam 500 mL larutan adalah ....
  - 0,1 M
  - 0,2 M
  - 0,5 M
  - 1,0 M
  - 2,0 M
- Jika 9,5 g  $MgCl_2$  dilarutkan dalam air sampai volume larutan 2 liter, kemolarannya adalah ....
  - 0,05 M
  - 0,10 M
  - 0,25 M
  - 0,5 M
  - 1,0 M
- Pada label botol pereaksi tercantum KCl 0,1M. Dalam 100 mL larutan tersebut terdapat KCl ....
  - 0,01 mol
  - 0,10 mol
  - 0,25 mol
  - 0,5 mol
  - 1,0 mol
- Ebtanas 96/97:**  
Sebanyak 3,42 g  $Al_2(SO_4)_3$  dilarutkan ke dalam air sampai volume larutan menjadi 2 L. Jika diketahui  $A_r$  Al = 27; S = 32; O = 16, kemolaran larutan tersebut adalah ....
  - 0,50 M
  - 0,10 M
  - 0,05 M
  - 0,01 M
  - 0,005 M
- Kemolaran HCl pekat adalah 12 M. Dalam 100 mL terkandung HCl sebanyak ....
  - 12,5 g
  - 36,5 g
  - 43,8 g
  - 56,3 g
  - 71,0 g
- Pada penguraian  $H_2O_2$  diperoleh 50 mL gas  $O_2$  dalam waktu 20 detik. Kecepatan penguraian  $H_2O_2$  tersebut adalah .... (dalam  $mL s^{-1}$ )
  - 0,40
  - 1,25
  - 2,50
  - 3,75
  - 4,00
- UMPTN 1990/A:**  
Pada suhu tertentu, kecepatan penguraian  $N_2O_5$  menjadi  $NO_2$  dan  $O_2$  adalah  $2,5 \times 10^{-6} mol L^{-1} s^{-1}$ . Kecepatan pembentukan  $NO_2$  adalah ....
  - $1,3 \times 10^{-6} mol L^{-1} s^{-1}$
  - $5,0 \times 10^{-6} mol L^{-1} s^{-1}$
  - $2,5 \times 10^{-6} mol L^{-1} s^{-1}$
  - $6,2 \times 10^{-6} mol L^{-1} s^{-1}$
  - $3,9 \times 10^{-6} mol L^{-1} s^{-1}$
- Reaksi ion bromida dan ion bromat dalam asam sesuai persamaan berikut:  
 $5Br^-(aq) + BrO_3^-(aq) + 6H^+(aq) \rightleftharpoons 3Br_2(g) + 3H_2O(l)$   
Jika kecepatan pembentukan air X  $mol L^{-1} s^{-1}$ , kecepatan berkurangnya ion  $H^+$  adalah ....

- 1/5X
- 2X
- 1/3X
- 3X
- X

9. Data hasil penyelidikan untuk reaksi:

$2XO + O_2 \rightleftharpoons 2XO_2$  adalah sebagai berikut.

$P_{XO}$ , kPa	100	100	50	50
$P_{O_2}$ , kPa	100	25	...	100
Kecepatan	1	0,25	0,125	0,50

Nilai yang belum terisi pada tabel tersebut adalah ....

- 75
  - 50
  - 40
  - 25
  - 12,5
- Indikator berikut dapat dijadikan variabel untuk mengukur kecepatan reaksi, *kecuali* ....
    - perubahan suhu
    - pembentukan endapan
    - pembebasan gas
    - perubahan massa
    - perubahan warna
  - Di antara reaksi berikut, tekanan merupakan variabel terikat pada pengukuran kecepatan reaksi terdapat pada ....
    - $H_2(g) + D_2(g) \rightleftharpoons 2HD(g)$
    - $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$
    - $2NCl_3(l) \rightleftharpoons N_2(g) + 3Cl_2(g)$
    - $H_2O_2(l) \rightleftharpoons H_2O(l) + \frac{1}{2}O_2(g)$
    - $CH_3N_2CH_3(g) \rightleftharpoons CH_3CH_3(g) + N_2(g)$
  - Perhatikan reaksi berikut.  
 $Na_2S_2O_3(aq) + 2HCl(aq) \rightleftharpoons 2NaCl(aq) + H_2O(l) + SO_2(g) + S(s)$   
Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi HCl terhadap kecepatan reaksi tersebut maka yang menjadi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol berturut-turut adalah ....
    - konsentrasi  $Na_2S_2O_3$ , volume  $SO_2$ , suhu reaksi
    - konsentrasi HCl, endapan S, konsentrasi  $Na_2S_2O_3$
    - suhu reaksi, tekanan  $SO_2$ , konsentrasi HCl
    - konsentrasi  $Na_2S_2O_3$ , konsentrasi HCl, tekanan  $SO_2$
    - tekanan  $SO_2$ , endapan S, dan suhu reaksi
  - Pernyataan yang *tidak* tepat tentang pengaruh luas permukaan reaksi heterogen adalah ....
    - serbuk seng memberikan reaksi lebih cepat daripada butiran seng
    - semakin besar jumlah luas permukaan padatan, semakin tinggi reaksi itu



- C. jumlah tumbukan dipengaruhi oleh jumlah ukuran partikel yang makin kecil.  
 D. partikel yang besar mempunyai lebih banyak permukaan untuk bertumbukan  
 E. semakin besar luas permukaan, semakin cepat reaksi berlangsung
14. **UMPTN 1990/B:**  
 Jika suhu dinaikkan  $10^{\circ}\text{C}$ , kecepatan reaksinya menjadi dua kali lebih cepat. Jika pada suhu  $t^{\circ}\text{C}$ , reaksi berlangsung selama 12 menit. Pada suhu  $(t + 30)^{\circ}\text{C}$  reaksi akan berlangsung selama ....  
 A. 4 menit                      D. 1,5 menit  
 B. 3 menit                      E. 1 menit  
 C. 2 menit
15. Cara-cara berikut ini dapat meningkatkan kecepatan reaksi, *kecuali* ....  
 A. menghancurkan partikel-partikel pereaksi menjadi serbuk kecil  
 B. meningkatkan suhu reaksi  
 C. memotong daging menjadi serpihan-serpihan sebelum dimasak  
 D. menambah air ke dalam larutan pereaksi sampai berlebih  
 E. menambahkan katalisator yang cocok
16. Kerja katalis dalam mempercepat reaksi melalui prosedur berikut, *kecuali* ....  
 A. turut serta dalam tahap-tahap reaksi  
 B. membuat jalan alternatif dengan energi pengaktifan lebih rendah  
 C. mengadsorpsi pereaksi gas dan reaksi terjadi pada permukaannya  
 D. pada akhir reaksi, katalis tidak diregenerasi kembali  
 E. adsorpsi pereaksi, reaksi pada permukaan katalis heterogen, desorpsi hasil reaksi

17. **Ebtanas 1996:**

Perhatikan data hasil percobaan untuk reaksi:  $A + B \rightarrow \text{produk}$  berikut.

Perc.	Berat dan Bentuk Zat A	Konsentrasi Zat B (M)	t (detik)	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	5 g, serbuk	0,1	20	25
2	5 g, larutan	0,1	30	25
3	5 g, keping	0,1	50	25
4	5 g, larutan	0,2	15	25
5	5 g, larutan	0,1	15	25

Pada percobaan 1 dan 3, kecepatan reaksi dipengaruhi oleh faktor ....

- A. konsentrasi zat              D. luas permukaan  
 B. sifat zat                      E. jenis zat  
 C. suhu sistem

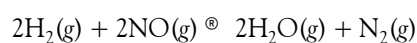
18. **Ebtanas 2000:**

Suatu reaksi:  $X + Y \rightarrow \text{hasil reaksi}$ , memiliki persamaan kecepatan  $v = k [X] [Y]^2$ . Jika konsentrasi X dan Y masing-masing diperbesar dua kali dari konsentrasi semula, kecepatan reaksinya ....

- A. tidak berubah  
 B. dua kali lebih besar  
 C. empat kali lebih besar  
 E. enam kali lebih besar  
 E. delapan kali lebih besar

19. **UMPTN 1998/C:**

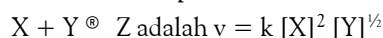
Pada reaksi:



kecepatannya  $v = k[\text{H}_2][\text{NO}]^2$  dan  $k = 1 \times 10^{-5}$ . Jika 4 mol  $\text{H}_2$  dan 2 mol  $\text{NO}$  direaksikan dalam tabung yang bervolume 2 liter, kecepatan reaksinya adalah ....

- A.  $1,6 \times 10^{-5}$                       D.  $3,0 \times 10^{-5}$   
 B.  $6,4 \times 10^{-5}$                       E.  $2,0 \times 10^{-5}$   
 C.  $4,0 \times 10^{-5}$

20. Persamaan kecepatan untuk reaksi:



Jika konsentrasi X dan Y masing-masing diperbesar empat kali, kecepatan reaksinya menjadi ....

- A. 4 kali                              D. 32 kali  
 B. 8 kali                              E. 64 kali  
 C. 16 kali

21. **UMPTN 1998/A:**

Suatu reaksi:  $P + Q \rightarrow \text{Produk}$

memiliki persamaan kecepatan  $v = k[\text{P}]^2[\text{Q}]$ . Jika konsentrasi masing-masing pereaksi diperbesar tiga kali, kecepatan reaksinya menjadi ....

- A. 3 kali                              D. 18 kali  
 B. 6 kali                              E. 27 kali  
 C. 9 kali

22. Suatu percobaan dilakukan untuk menentukan persamaan kecepatan reaksi berikut:

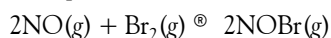


Persamaan kecepatan untuk reaksi itu adalah ....

Perc.	[P]	[Q]	[R]	v
1	a	b	c	v
2	2a	b	c	2v
3	a	2b	c	2v
4	a	2b	2c	8v

- A.  $v = k [P]^2 [Q]$   
 B.  $v = k [P]^2 [R]$   
 C.  $v = k [P] [R]^2$   
 D.  $v = k [P] [Q] [R]^2$   
 E.  $v = k [P]^2 [Q]^2 [R]$

23. Data percobaan untuk reaksi:



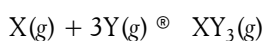
ditabulasikan ke dalam tabel berikut.

Percobaan	[NO] <sub>0</sub> (M)	[Br <sub>2</sub> ] <sub>0</sub> (M)	Kecepatan Reaksi (M s <sup>-1</sup> )
1	0,1	0,1	12
2	0,1	0,2	24
3	0,2	0,1	48
4	0,3	0,1	108

Reaksi tersebut memiliki persamaan kecepatan ....

- A.  $v = k [\text{NO}]^2 [\text{Br}_2]^2$
- B.  $v = k [\text{NO}] [\text{Br}_2]^2$
- C.  $v = k [\text{NO}]^2 [\text{Br}_2]$
- D.  $v = k [\text{NO}]^2 [\text{Br}_2]^0$
- E.  $v = k [\text{NO}] [\text{Br}_2]$

24. Gas X dan Y bereaksi menurut persamaan:



Untuk menentukan kecepatan reaksi tersebut, diperoleh data berikut:

Percobaan	[X] (M)	[Y] (M)	Kecepatan Reaksi (M s <sup>-1</sup> )
1	0,10	0,10	0,002
2	0,10	0,20	0,008
3	0,10	0,30	0,018
4	0,20	0,10	0,002
5	0,30	0,10	0,002

Persamaan kecepatan reaksinya adalah ....

- A.  $v = k [\text{X}] [\text{Y}]^3$
- B.  $v = k [\text{X}] [\text{Y}]^2$
- C.  $v = k [\text{Y}]^2$
- D.  $v = k [\text{X}] [\text{Y}]$
- E.  $v = k [\text{Y}]^3$

25. UMPN 1999/B:

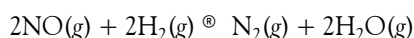
Data percobaan untuk reaksi  $2\text{A} + \text{B}_2 \rightleftharpoons 2\text{AB}$  ditabulasi pada tabel berikut:

Percobaan	[A] <sub>0</sub>	[B <sub>2</sub> ] <sub>0</sub>	Kecepatan Reaksi (M s <sup>-1</sup> )
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	$3,2 \times 10^{-4}$

Tingkat reaksi keseluruhan adalah ....

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

26. Dari reaksi:



diperoleh data sebagai berikut.

Perc.	[NO] (M)	[H <sub>2</sub> ] (M)	Kecepatan Reaksi (M s <sup>-1</sup> )
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	$4 \times 10^3$	$8 \times 10^3$	$32 \times 10^{-6}$

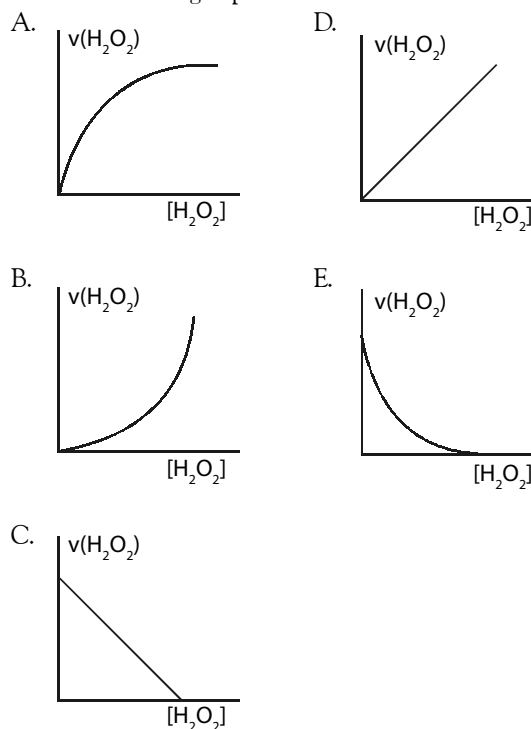
Tingkat reaksi dari reaksi tersebut adalah ....

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

27. Pernyataan tentang tingkat reaksi yang *tidak* tepat adalah ....

- A. pangkat dari pereaksi dalam persamaan kecepatan
- B. menunjukkan tingkat kecepatan
- C. dapat diturunkan dari koefisien reaksinya
- D. nilainya dapat sama ataupun berbeda dengan koefisien reaksi
- E. dapat berupa bilangan bulat atau pecahan

28. Di antara grafik berikut, yang menunjukkan bahwa penguraian H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> adalah orde pertama terhadap konsentrasi hidrogen peroksida adalah ....



29. Pengaruh konsentrasi, luas permukaan sentuhan, dan suhu reaksi terhadap kecepatan reaksi menurut teori tumbukan berturut-turut karena ....

- A. frekuensi tumbukan, orientasi tumbukan, energi kinetik partikel
- B. orientasi tumbukan, frekuensi tumbukan, keadaan transisi

- C. orientasi tumbukan, energi pengaktifan, frekuensi tumbukan  
 D. energi kinetik partikel, orientasi tumbukan, energi pengaktifan  
 E. orientasi dan frekuensi tumbukan
30. Berdasarkan teori tumbukan, katalis mempercepat reaksi dengan cara ....  
 A. menurunkan energi hasil reaksi  
 B. meningkatkan energi pereaksi  
 C. menurunkan energi pereaksi dan hasil reaksi  
 D. menurunkan energi pengaktifan  
 E. menurunkan energi pereaksi dan pengaktifan
31. Reaksi berlangsung lebih cepat jika suhu sistem dinaikkan sebab naiknya suhu mengakibatkan ....  
 A. energi pengaktifan bertambah  
 B. fraksi mol berenergi lebih besar dari  $E_a$  bertambah  
 C. konsentrasi pereaksi bertambah  
 D. jumlah partikel pereaksi bertambah  
 E. volume pereaksi bertambah
32. Pada reaksi penguraian  $H_2O_2$ , pengaruh katalis  $MnO_2$  dapat ....  
 A. membentuk lebih banyak ion hidrogen dan gas oksigen  
 B. menambah kepekatan hidrogen peroksida  
 C. menambah jumlah tumbukan antarpartikel  
 D. menurunkan energi pengaktifan reaksi  
 E. mengubah perubahan entalpi reaksi.
33. **Ebtanas 1996:**  
 Kenaikan suhu akan mempercepat reaksi sebab ....  
 A. kenaikan suhu akan memperbesar energi kinetik molekul pereaksi  
 B. kenaikan suhu akan memperbesar tekanan molekul pereaksi  
 C. kenaikan suhu akan menaikkan energi pengaktifan zat yang bereaksi  
 D. kenaikan suhu akan memperbesar konsentrasi zat yang bereaksi  
 E. kenaikan suhu akan memperbesar luas permukaan zat pereaksi
34. Menyimpan bahan makanan dalam kulkas adalah salah satu cara agar tahan lebih lama. Alasan pada suhu rendah makanan tahan lama adalah ....  
 A. jumlah tumbukan antara bakteri berkurang  
 B. bahan makanan membeku lalu menjadi keras  
 C. konsentrasi bakteri dalam bahan makanan berkurang  
 D. kecepatan reaksi bakteri dalam bahan makanan berkurang  
 E. bakteri turut membeku
35. Untuk meningkatkan kinerja katalis dalam konverter kendaraan bermotor maka ditambahkan ....  
 A. inhibitor                      D. aktivator  
 B. promotor                      E. radiator  
 C. logam transisi

**B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.**

1. Apakah perbedaan antara laju reaksi dan kecepatan reaksi?
2. Faktor-faktor apa sajakah yang memengaruhi kecepatan reaksi? Bagaimanakah pengaruh dari faktor-faktor tersebut? Jelaskan.
3. Jelaskan pertanyaan berikut:  
 a. Apakah yang dimaksud dengan katalis homogen dan katalis heterogen?  
 b. Mengapa katalis heterogen dapat memengaruhi kecepatan reaksi?  
 c. Bagaimanakah katalis meningkatkan kecepatan reaksi?  
 d. Mungkinkah konsentrasi katalis homogen muncul dalam persamaan kecepatan reaksi?
4. Dalam proses Haber, amonia diproduksi menurut persamaan berikut:  
 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$   
 Bagaimanakah hubungan antara kecepatan pembentukan  $NH_3$  dan kecepatan pasokan gas  $H_2$ ?
5. Reaksi antara  $NO$  dan  $H_2$ :  
 $2NO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 2H_2O(g)$   
 adalah reaksi tingkat dua terhadap  $NO$  dan tingkat pertama terhadap  $H_2$ . Tuliskan persamaan kecepatan reaksi ini. Berapakah tingkat reaksi keseluruhan?
6. Persamaan kecepatan untuk reaksi penguraian  $N_2O_5$  dalam  $CCl_4$  adalah  $v = k [N_2O_5]$ , dengan nilai  $k = 6,32 \times 10^{-4} s^{-1}$  pada  $45^\circ C$ . Berapakah kecepatan awal penguraian  $N_2O_5$  jika konsentrasi  $N_2O_5$  sebanyak  $0,01 M$  dan  $0,05 M$ .
7. Perhatikan reaksi berikut.  
 $A + 2B \rightleftharpoons D + E$ , persamaan kecepataannya:  
 $v = k [A] [B]^2$   
 Bagaimanakah kecepatan reaksinya jika:  
 a. konsentrasi  $A$  dinaikkan dua kali;  
 b. konsentrasi  $B$  dinaikkan dua kali; dan  
 c. jumlah katalis diperbesar dua kali k?
8. Tentukan persamaan kecepatan untuk reaksi:  
 $(C_6H_5)_2(NH_2)_2 + I_2 \rightleftharpoons (C_6H_5)_2N_2 + 2HI$   
 jika diperoleh data sebagai berikut:

Percobaan	$[(C_6H_5)_2(NH_2)_2]$ (M)	$[I_2]$ (M)	Kecepatan Reaksi ( $Ms^{-1}$ )
1	0,01	0,01	2,00
2	0,01	0,02	4,00
3	0,03	0,02	12,00

# Bab 5



Sumber: CD Image  
Menara Pisa mengalami keadaan kesetimbangan

## Kesetimbangan Kimia

Hasil yang harus Anda capai:

memahami kinetika reaksi, kesetimbangan kimia, dan faktor-faktor yang memengaruhinya, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan industri.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menjelaskan kesetimbangan dan faktor-faktor yang memengaruhi pergeseran arah kesetimbangan dengan melakukan percobaan;
- menentukan hubungan kuantitatif antara pereaksi dan hasil reaksi dari suatu reaksi kesetimbangan;
- menjelaskan penerapan prinsip kesetimbangan dalam kehidupan sehari-hari dan industri.

Selama ini, reaksi-reaksi kimia yang Anda pelajari adalah reaksi satu arah. Artinya, semua pereaksi dinyatakan habis bereaksi dan tidak pernah kembali. Sesungguhnya, banyak reaksi kimia yang terjadi tidak satu arah, melainkan membentuk keadaan setimbang. Dalam hal ini, pereaksi tidak habis bereaksi dan hasil-hasil reaksi dapat kembali lagi membentuk pereaksi. Hal ini berlangsung hingga terbentuk keadaan kesetimbangan antara pereaksi dan hasil reaksi.

Apakah reaksi kesetimbangan itu? Faktor-faktor apa sajakah yang memengaruhi pergeseran arah kesetimbangan? Bagaimanakah menentukan hubungan kuantitatif antara pereaksi dan hasil reaksi dari suatu reaksi kesetimbangan? Anda dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut jika Anda pelajari bab ini dengan baik.

- A. Kesetimbangan Dinamis dan Tetapan Kesetimbangan
- B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kesetimbangan
- C. Hubungan Kuantitatif Pereaksi dan Hasil Reaksi
- D. Reaksi Kesetimbangan di Industri Kimia

## Tes Kompetensi Awal

1. Apakah yang Anda ketahui tentang reaksi kesetimbangan?
2. Apakah perbedaan antar reaksi kesetimbangan dan reaksi satu arah?
3. Tuliskan contoh penerapan reaksi kesetimbangan pada bidang industri.

## A. Kesetimbangan Dinamis dan Tetapan Kesetimbangan

Ilmuwan pertama yang mengajukan gagasan kesetimbangan dalam ilmu Kimia adalah Berthollet, ketika menjadi penasihat Napoleon di Mesir (reaksi kesetimbangan dapat diselidiki dalam dua arah). Temuan secara laboratorium dilakukan oleh Guldberg dan Waage, sedangkan rumusan secara matematika diajukan oleh van't Hoff (konsentrasi pereaksi dalam reaksi kesetimbangan sebanding dengan pangkat dari koefisien reaksinya).

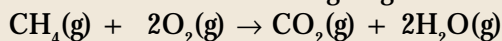
### 1. Makna Kesetimbangan Dinamis

Ada beberapa istilah yang harus Anda pahami sebelum melangkah lebih jauh mempelajari kesetimbangan kimia. Istilah tersebut adalah reaksi satu arah (one way reaction), reaksi dapat balik (two way reaction), dan reaksi kesetimbangan (equilibrium reaction).

Jika dalam suatu reaksi, zat-zat hasil reaksi tidak dapat bereaksi kembali menjadi pereaksi maka disebut reaksi satu arah.

Contoh:

Pembakaran metana berlangsung dalam satu arah. Persamaan reaksinya:

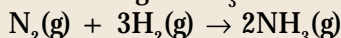


Jika hasil reaksi ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) direaksikan lagi, tidak akan membentuk pereaksi kembali ( $\text{CH}_4 + \text{O}_2$ ), tetapi menjadi  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Kenyataan ini menunjukkan bahwa reaksi di atas adalah reaksi satu arah atau reaksi yang tidak dapat balik (irreversible).

Jika dalam suatu reaksi hasil-hasil reaksi dapat membentuk pereaksi lagi maka disebut reaksi dapat balik (reversible).

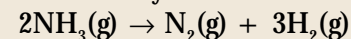
Contoh:

Jika gas  $\text{N}_2$  dan gas  $\text{H}_2$  direaksikan dalam reaktor tertutup akan terbentuk gas  $\text{NH}_3$ . Persamaannya:



Gas  $\text{NH}_3$  yang terbentuk dapat diuraikan kembali membentuk pereaksi.

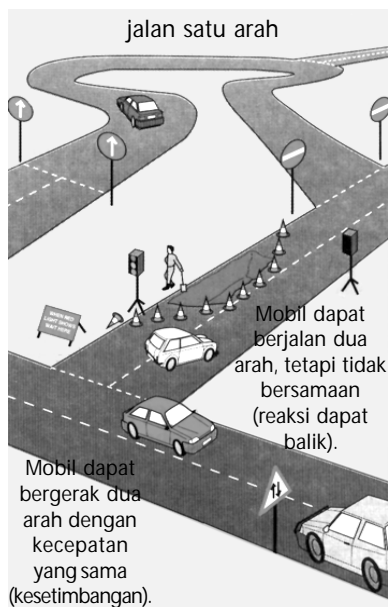
Persamaannya:



Reaksi semacam ini menunjukkan bahwa reaksi dapat balik (reversible) atau reaksi dua arah.

Suatu reaksi dapat digolongkan ke dalam reaksi kesetimbangan dinamis (equilibrium reaction) jika reaksi yang dapat balik (reversible) berlangsung dengan kecepatan yang sama, baik kecepatan ke arah hasil reaksi maupun kecepatan ke arah pereaksi dan reaksinya tidak bergantung pada waktu (contoh analogi Gambar 5.1).

Dalam sistem kesetimbangan dinamis, reaksi yang menuju hasil reaksi dan reaksi yang menuju pereaksi berlangsung secara bersamaan dengan laju yang sama sehingga konsentrasi masing-masing zat dalam sistem kesetimbangan tidak berubah.



Sumber: Chemistry for You, 2002

Gambar 5.1

Reaksi kesetimbangan seperti jalan dua arah yang dilalui mobil dengan kecepatan yang sama.

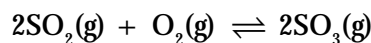
Jika Anda dapat melihat sistem kesetimbangan dinamis secara molekuler, akan tampak partikel-partikel dalam sistem kesetimbangan tidak tetap sebagai pereaksi atau hasil reaksi, melainkan bereaksi terus dalam dua arah secara dinamis. Pereaksi akan berubah menjadi hasil reaksi diimbangi oleh hasil reaksi berubah menjadi pereaksi. Jadi, kesetimbangan kimia dikatakan dinamis sebab secara molekuler (mikroskopik) zat-zat tersebut berubah setiap saat, tetapi secara keseluruhan (makroskopik) tidak ada perubahan sifat fisik, baik wujud maupun konsentrasi masing-masing zat.

Keadaan kesetimbangan dinamis dapat dianalogikan sebagai seseorang yang berjalan di eskalator, tetapi arahnya berlawanan dengan arah eskalator. Eskalator bergerak ke bawah dan orang tersebut bergerak ke atas dengan kecepatan yang sama. Akibatnya, orang tersebut seperti berjalan di tempat. Secara makroskopik, kedudukan orang tersebut tidak berubah sebab tidak bergeser dari posisinya, tetapi secara mikroskopik terjadi perubahan terus menerus, seperti ditunjukkan oleh gerakan eskalator yang diimbangi oleh gerakan orang tersebut dengan kecepatan yang sama (perhatikan Gambar 5.2).

Persamaan kimia untuk reaksi kesetimbangan dinyatakan dengan dua arah anak panah, misalnya pada reaksi pembentukan amonia, persamaan kimianya ditulis sebagai berikut.



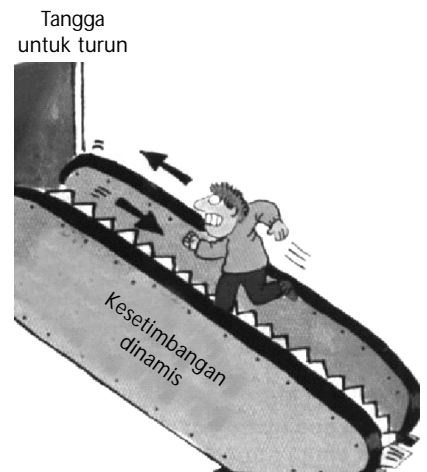
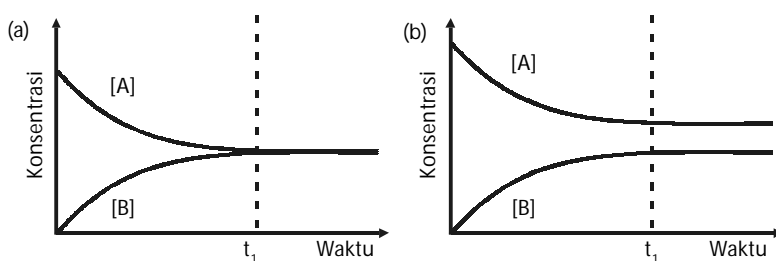
Tinjau reaksi pembentukan belerang trioksida berikut.



Jika konsentrasi masing-masing zat dalam sistem kesetimbangan itu diukur. Kemudian hasilnya dituangkan ke dalam bentuk grafik hubungan antara konsentrasi zat dan waktu reaksi maka kurva yang terbentuk seperti pada Gambar 5.3.

Bagaimanakah cara memahami makna kurva pada Gambar 5.3? Simak dengan saksama. Pada  $t = 0$  detik, hanya terdapat pereaksi ( $\text{SO}_2$  dan  $\text{O}_2$ ) dengan konsentrasi awal tertentu. Dengan mengendalikan suhu dan tekanan, pereaksi mulai berubah menjadi hasil reaksi ( $\text{SO}_3$ ). Pada saat  $\text{SO}_3$  mulai terbentuk, sebagian  $\text{SO}_3$  terurai kembali menjadi pereaksi. Akan tetapi, karena jumlah molekul pereaksi lebih banyak, laju penguraian  $\text{SO}_3$  relatif lebih lambat dibandingkan laju pembentukan  $\text{SO}_3$  sehingga pembentukan  $\text{SO}_3$  masih dominan. Reaksi dalam dua arah berlangsung terus sampai mendekati waktu  $t_1$ , laju ke dua arah ini hampir sama. Setelah mencapai waktu  $t_1$ , laju pembentukan dan laju penguraian  $\text{SO}_3$  sama sehingga konsentrasi pereaksi dan hasil reaksi tidak berubah lagi terhadap waktu. Hal ini ditunjukkan oleh bentuk kurva yang mendatar.

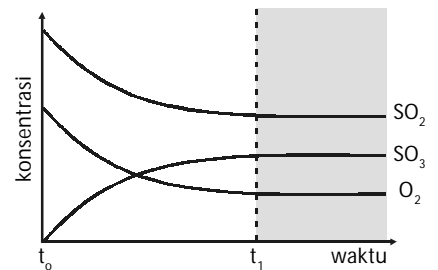
Semua reaksi kesetimbangan dapat dinyatakan dalam bentuk grafik dengan bentuk yang berbeda bergantung pada sifat reaksinya, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Sumber: Chemistry for You, 2002

Gambar 5.2

Seseorang yang naik eskalator dengan arah berlawanan akan terlihat seperti berjalan di tempat.



Gambar 5.3

Sistem reaksi kesetimbangan:  
 $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$

Gambar 5.4

- (a) Kesetimbangan:  $a\text{A} \rightleftharpoons b\text{B}$ , konsentrasi kesetimbangan hasil reaksi (B) sama dengan konsentrasi kesetimbangan pereaksi (A).
- (b) Konsentrasi kesetimbangan hasil reaksi (B) berbeda dengan konsentrasi kesetimbangan pereaksi (A).



Pada Gambar 5.4.(a), proses untuk mencapai kesetimbangan sama dengan proses pada pembentukan  $\text{SO}_3(\text{g})$ , tetapi konsentrasi pada akhir reaksi berbeda. Dalam hal ini, setelah keadaan kesetimbangan tercapai, konsentrasi pereaksi sama dengan konsentrasi produk, atau  $[\text{A}] = [\text{B}]$ .

## Kegiatan Inkuiri



Diskusikan secara berkelompok, bagaimana bentuk grafik dari reaksi:



## 2. Hukum Kesetimbangan Kimia

Dalam reaksi satu arah, konsentrasi molar hasil reaksi ditentukan oleh konsentrasi molar pereaksi dan mengikuti kaidah stoikiometri (koefisien reaksinya). Contohnya  $2\text{A} \rightarrow \text{B}$ , jumlah mol B bergantung pada jumlah mol A dan perbandingan koefisien reaksinya.

Dalam sistem reaksi kesetimbangan tidak demikian, mengapa? Andaikan sistem reaksi:  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}$  membentuk kesetimbangan. Ketika kesetimbangan tercapai, konsentrasi NO tidak bergantung pada konsentrasi awal  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$ , tetapi mengikuti hukum kesetimbangan kimia atau hukum aksi massa.

Jika ke dalam suatu reaktor tertutup dicampurkan gas  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , dan NO (reaksinya dapat balik) maka Anda tidak dapat menentukan mana yang bertindak sebagai pereaksi maupun hasil reaksi. Arah reaksi pun tidak dapat ditentukan secara pasti sebab reaksi dapat balik (reversible), dapat berlangsung dalam dua arah. Untuk mengetahui arah reaksi dalam reaksi dapat balik (reversible) maka didefinisikan perbandingan reaksi (quotient of reaction), dilambangkan dengan Q, yaitu perbandingan konsentrasi zat-zat yang bereaksi.

Andaikan persamaan reaksi untuk campuran gas  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , dan NO Anda tuliskan sebagai  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$  maka perbandingan reaksinya adalah

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

Pada saat reaksi mencapai kesetimbangan, harga Q tidak lagi bergantung pada konsentrasi awal, tetapi hanya bergantung pada suhu sistem reaksi.

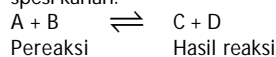
Agar lebih memahami dan meningkatkan keyakinan Anda, simak Tabel 5.1 berikut yang menyajikan data hasil pengukuran konsentrasi molar dan harga Q setelah kesetimbangan tercapai ( $Q_{\text{Kstb}}$ ) pada suhu T.

**Tabel 5.1** Data Hasil Pengukuran Konsentrasi dan  $Q_{\text{Kstb}}$  pada Suhu T untuk Reaksi  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$ .

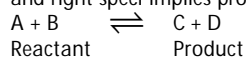
Perobaan	Konsentrasi Awal (M)			$Q_{\text{Kstb}}$
	$\text{N}_2$	$\text{O}_2$	NO	
1	0,127	0,134	0,966	55,68
2	0,027	0,027	0,202	55,21



Dalam reaksi kesetimbangan spesi kiri dan kanan dapat bertindak sebagai pereaksi sekaligus hasil reaksi. Oleh karena itu, dibuat kesepakatan ketika dinyatakan pereaksi maksudnya spesi kiri sedangkan hasil reaksi maksudnya spesi kanan.



On equilibrium reaction, left speci and right speci can act as a reactant and also a product. Based on agreement, left speci implies reactant and right speci implies product.



3	0,164	0,098	0,945	55,46
4	0,064	0,065	0,482	55,16
5	0,103	0,179	0,013	55,31

Apakah yang dapat Anda simpulkan dari data pada Tabel 5.1? Konsentrasi awal masing-masing zat untuk kelima percobaan tidak sama, tetapi setelah kesetimbangan tercapai kelima percobaan memiliki nilai  $Q$  yang relatif sama.

Besaran  $Q$  memiliki makna penting sebab memberikan nilai yang tidak bergantung pada konsentrasi awal pereaksi. Pada saat harga  $Q$  tetap, dinamakan tetapan kesetimbangan (dilambangkan dengan  $K_c$ ).

$$K_c = Q_{\text{Kstb}}$$

Tetapan kesetimbangan untuk contoh reaksi  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$  dapat ditulis:

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

Berdasarkan uraian tersebut maka dapat dikatakan sebagai berikut.

1. Jika nilai  $Q$  lebih besar daripada nilai  $K_c$ , reaksi sedang berlangsung ke arah kiri persamaan reaksi.
2. Jika nilai  $Q$  lebih kecil daripada nilai  $K_c$ , reaksi sedang menuju ke arah kanan.
3. Jika nilai  $Q$  sama dengan nilai  $K_c$ , reaksi dikatakan telah mencapai keadaan setimbang.

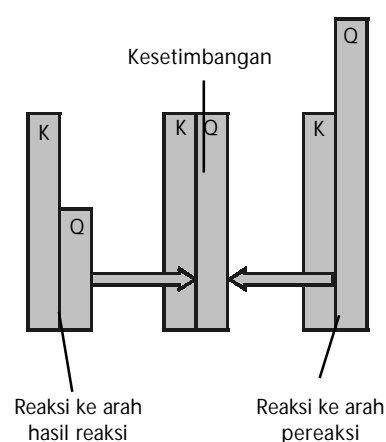
Secara umum, tetapan kesetimbangan untuk reaksi hipotetik:

$a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C} + d\text{D}$ , dapat dinyatakan dengan:

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

Hubungan antara  $K$  dan  $Q$  dari ke-3 poin di atas dapat dianalogikan seperti Gambar 5.5.

Nilai  $K_c$  selalu tetap walaupun konsentrasi awal zat-zat dalam sistem kesetimbangan diubah-ubah. Nilai  $K_c$  akan berubah jika suhu sistem reaksi berubah. Oleh karena itu, nilai  $K_c$  hanya dipengaruhi oleh suhu sistem reaksi.



Sumber: Chemistry (McMurry), 2001

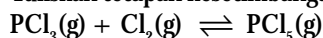
Gambar 5.5

Hubungan perbandingan  $K$  dan  $Q$  dengan arah reaksi.

### Contoh 5.1

#### Menentukan Tetapan Kesetimbangan

Tuliskan tetapan kesetimbangan reaksi berikut dalam bentuk konsentrasi molar:



Jika  $Q > K_c$ , ke arah mana reaksi sedang berjalan?

Jawab:

Dalam tetapan kesetimbangan:

1. Pereaksi dituliskan sebagai penyebut.
2. Hasil reaksi dituliskan sebagai pembilang.
3. Setiap zat dipangkatkan koefisien reaksinya.

Persamaan tetapan kesetimbangan untuk reaksi:

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

Jika  $Q > K_c$ , artinya  $[\text{PCl}_5]$  lebih banyak dari  $[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]$ . Oleh karena itu, reaksi sedang berlangsung ke arah penguraian  $\text{PCl}_5$  (ke arah kiri).

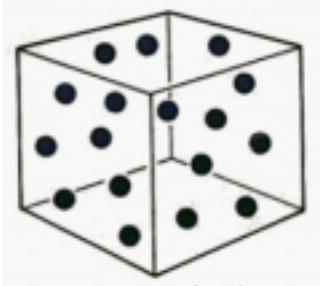
### Kata Kunci

- Reaksi kesetimbangan
- Tetapan kesetimbangan

### 3. Kestimbangan Sistem Homogen dan Heterogen

Apakah yang dimaksud dengan reaksi kesetimbangan homogen dan heterogen? Istilah ini merujuk kepada fasa zat-zat yang terlibat dalam sistem reaksi kesetimbangan.

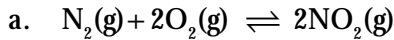
Suatu reaksi kesetimbangan dikatakan homogen jika pereaksi dan hasil reaksi memiliki fasa yang sama, sedangkan reaksi dikatakan heterogen jika salah satu zat atau lebih berbeda fasa.



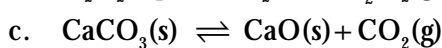
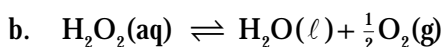
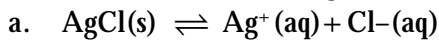
Gambar 5.6

Kemolaran gas bergantung pada volume wadahnya (kemolaran gas = mol gas per volume wadahnya)

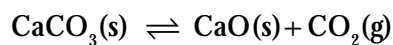
Contoh reaksi kesetimbangan homogen, yaitu:



Contoh reaksi kesetimbangan heterogen, yaitu:



Apakah tetapan kesetimbangan sistem heterogen sama dengan uraian sebelumnya? Berdasarkan penelitian, menunjukkan bahwa tetapan kesetimbangan reaksi heterogen memiliki karakter tertentu. Tinjau reaksi kesetimbangan heterogen pada penguraian termal  $CaCO_3$  berikut.



Bagaimanakah bentuk persamaan tetapan kesetimbangan untuk sistem reaksi heterogen ini? Andaikan tetapan kesetimbangan untuk penguraian termal  $CaCO_3$  dituliskan sama seperti untuk reaksi homogen:

$$K_c = \frac{[CaO][CO_2]}{[CaCO_3]}$$

Konsentrasi zat dalam sistem kesetimbangan adalah mol per liter. Untuk zat murni, baik padatan maupun zat cair, konsentrasi molar zat tidak berubah walaupun jumlahnya berkurang akibat bereaksi. Mengapa tidak berubah? Untuk zat murni, misalnya air, jika massa air dikurangi maka volume air juga berkurang (perhatikan Gambar 5.7). Akibatnya, konsentrasi molar air tidak berubah. Dengan kata lain, massa jenis zat murni selalu tetap. Berbeda dengan zat murni, untuk larutan, jika jumlah zat terlarut atau volume pelarut berkurang maka konsentrasi molarnya berubah. Sedangkan zat berupa gas kemolarannya bergantung pada volume wadahnya seperti ditunjukkan pada Gambar 5.6

Oleh karena massa jenis zat murni tetap, selama reaksi berlangsung massa  $CaCO_3$  dan  $CaO$  per satuan volume zat padatnya selalu tetap. Hal ini menyebabkan konsentrasi kedua zat murni ini tidak memengaruhi nilai tetapan kesetimbangan. Oleh karena itu, konsentrasi  $CaCO_3$  dan  $CaO$  dapat dipindahkan ke ruas kiri persamaan dan digabungkan dengan tetapan kesetimbangan ( $K_c$ ). Persamaan kesetimbangannya menjadi:

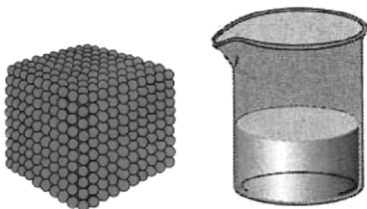
$$K_c = \frac{[CaCO_3]}{[CaO]} = [CO_2]$$

$$K_c = [CO_2]$$

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa untuk reaksi kesetimbangan yang heterogen, persamaan tetapan kesetimbangan tidak melibatkan konsentrasi zat murninya.

#### Kata Kunci

- Kestimbangan heterogen
- Kestimbangan homogen



Gambar 5.7

Volume untuk menentukan kemolaran zat murni adalah volume zatnya sendiri, bukan volume wadah (kemolaran zat murni = mol zat / volume zat)

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Tuliskan perbedaan nyata antara sistem reaksi satu arah, dua arah, dan reaksi kesetimbangan?
2. Mengapa reaksi kesetimbangan kimia dikatakan dinamis?
3. Tuliskan tetapan kesetimbangan untuk reaksi berikut:
  - (a)  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$
  - (b)  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$
  - (c)  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$
  - (d)  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$
4. Tetapan kesetimbangan untuk reaksi:  $2\text{A} \rightleftharpoons \text{B}$  adalah  $K_c = 20$ . Jika nilai  $Q = 15$ , ke arah manakah reaksi sedang berlangsung?
5. Silika gel digunakan untuk mengikat air dari udara, dan membentuk kesetimbangan menurut persamaan berikut:  
 $\text{SiO}_2(\text{s}) + n\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}(\text{s})$   
Tuliskan tetapan kesetimbangannya.
6. Penguapan  $\text{CCl}_4$  membentuk keadaan setimbang menurut persamaan:  $\text{CCl}_4(\ell) \rightleftharpoons \text{CCl}_4(\text{g})$   
Tuliskan tetapan kesetimbangannya.
7. Tuliskan tetapan kesetimbangan untuk reaksi penguraian  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

## B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kesetimbangan

Jika ke dalam sistem reaksi yang berada dalam keadaan kesetimbangan diberi gangguan, misalnya konsentrasi atau suhunya diubah, apa yang terjadi? Sudah menjadi fenomena alam, setiap ada aksi tentu ada reaksi dan reaksinya beragam.

Menurut Le Chatelier, jika sistem yang berada dalam keadaan kesetimbangan diganggu, sistem akan berusaha mengurangi gangguan dengan cara menggeser posisi kesetimbangan, baik ke arah pereaksi maupun hasil reaksi sehingga gangguan tersebut minimum dan tercapai keadaan kesetimbangan yang baru.

### 1. Gangguan Konsentrasi

Jika pada sistem kesetimbangan dilakukan penambahan atau pengurangan salah satu pereaksi atau hasil reaksi, sistem akan mengadakan reaksi untuk mengurangi gangguan tersebut. Untuk lebih memahami pengaruh konsentrasi, lakukan penyelidikan berikut.

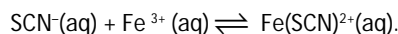


## Aktivitas Kimia 5.1

Pengaruh Perubahan Konsentrasi terhadap Sistem Kesetimbangan

Tujuan

Mengetahui pengaruh perubahan konsentrasi terhadap sistem kesetimbangan



Alat

1. Gelas kimia
2. Tabung reaksi
3. Pipet tetes
4. Gelas ukur

Bahan

1. Larutan  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  0,01 M
2. Larutan  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  0,01 M
3. Larutan  $\text{KSCN}$  0,01 M

Langkah Kerja

1. Campurkan 25 mL  $\text{KSCN}$  0,01 M dan 2 tetes  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  0,01 M ke dalam gelas kimia.
2. Tuangkan larutan tersebut ke dalam 4 buah tabung reaksi.
3. Tabung 1 disimpan sebagai pembanding.



## Mahir Menjawab

Reaksi pembuatan belerang trioksida adalah reaksi eksoterm  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ . Produksi belerang trioksida dapat meningkat dengan cara ....

- A. menahan tekanan
- B. menambah katalis
- C. menurunkan suhu
- D. memperbesar volume

Pembahasan

Agar reaksi kesetimbangan bergeser ke arah  $\text{SO}_3$  (ke kanan) maka:

- tekanan diperbesar
- volume diperkecil
- suhu diturunkan

Jadi, jawabannya (C)

SPMB 2003

4. Tabung 2 ditambahkan setetes KSCN 0,01 M.
5. Tabung 3 ditambahkan setetes  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  0,01 M.
6. Tabung 4 ditambahkan setetes  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  0,01 M.
7. Amati dan catat semua perubahan warna yang terjadi.

Kondisi	Pengamatan
KSCN (awal)	Bening
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ (awal)	Kuning pucat
Tabung 1	.....
Tabung 2	.....
Tabung 3	.....
Tabung 4	.....

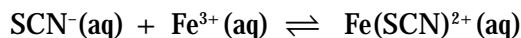
Pertanyaan

1. Gangguan apakah yang diberikan pada tabung 2, 3, dan 4? Jelaskan.
2. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari aktivitas ini? Diskusikan secara berkelompok.

Persamaan reaksi pada Aktifitas Kimia 5.1 cukup rumit, tetapi dapat disederhanakan menjadi:



Oleh karena tidak semua spesi kimia dalam reaksi tersebut mengalami perubahan, Anda dapat menuliskan spesi kimia yang berubah saja, yaitu:

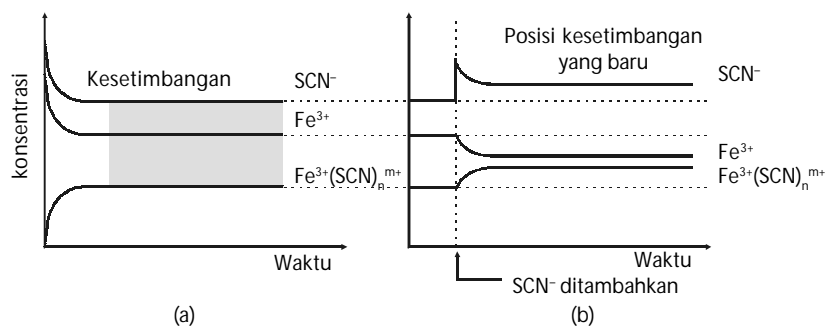


Reaksi kesetimbangan tersebut dapat dipelajari berdasarkan perubahan warna yang terjadi.  $\text{KSCN}(\text{aq})$  tidak berwarna,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$  berwarna kuning pucat, setelah bereaksi larutan menjadi berwarna merah. Warna merah ini berasal dari  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}(\text{aq})$  yang terbentuk.

Jika ke dalam sistem reaksi, konsentrasi pereaksi dinaikkan (penyelidikan pada tabung 2 dan 3) atau konsentrasi pereaksi dikurangi (penyelidikan pada tabung 4) apa yang akan terjadi? Berdasarkan pengamatan, menunjukkan bahwa pada tabung 2 dan 3 warna larutan berubah menjadi merah tua. Warna merah berasal dari  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$ , ini menunjukkan posisi kesetimbangan telah bergeser ke arah pembentukan hasil reaksi.

Berdasarkan hasil penyelidikan pada tabung 4, warna larutan berubah menjadi tidak berwarna. Hal ini menunjukkan bahwa posisi kesetimbangan telah bergeser ke arah pereaksi (pembentukan kembali ion  $\text{SCN}^-$ , tidak berwarna).

Jika pada akhirnya kesetimbangan terbentuk kembali, bagaimana komposisi konsentrasi masing-masing pereaksi setelah gangguan dikurangi oleh sistem kesetimbangan? Untuk memahami ini, simak penyelidikan pada tabung 2. Penambahan  $\text{SCN}^-$  akan menggeser posisi kesetimbangan ke arah hasil reaksi. Akibatnya, konsentrasi  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  lebih besar dari sebelumnya, konsentrasi  $\text{Fe}^{3+}$  lebih sedikit, dan konsentrasi  $\text{SCN}^-$  lebih besar karena tidak semua  $\text{SCN}^-$  yang ditambahkan bereaksi dengan  $\text{Fe}^{3+}$ . Komposisi konsentrasi pereaksi dan produk dapat dilihat pada Gambar 5.8.



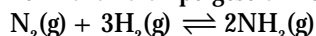
Gambar 5.8

- (a) Keadaan kesetimbangan sebelum penambahan  $\text{SCN}^-$ .  
 (b) Keadaan kesetimbangan baru, setelah penambahan  $\text{SCN}^-$ .

## Contoh 5.2

### Pengubahan Konsentrasi Kesetimbangan

Perkirakan arah pergeseran kesetimbangan berikut:



Jika terhadap sistem kesetimbangan ditambah  $\text{NH}_3$ ?

Bagaimana komposisi konsentrasi masing-masing zat setelah tercapai kesetimbangan yang baru?

Jawab:

Penambahan  $\text{NH}_3$  akan menggeser posisi kesetimbangan ke arah penguraian  $\text{NH}_3$  menjadi  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}_2$ .

Setelah tercapai kesetimbangan yang baru, konsentrasi  $\text{NH}_3$  bertambah sedikit, konsentrasi  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}_2$  bertambah besar.

## 2. Gangguan terhadap Suhu Sistem

Jika sistem kesetimbangan diubah suhunya maka sistem akan bereaksi dengan cara yang berbeda dengan gangguan konsentrasi. Reaksi terhadap gangguan suhu sangat bergantung pada sifat-sifat termokimia dari spesi yang terdapat dalam sistem kesetimbangan.

Seperti telah dibahas pada Bab Termokimia, ada reaksi eksoterm dan reaksi endoterm. Reaksi eksoterm dapat berubah menjadi reaksi endoterm jika reaksinya dibalikkan, sedangkan nilai  $\Delta H$  reaksi tetap hanya tandanya saja yang berubah.

Jika sifat-sifat termokimia diterapkan ke dalam sistem reaksi yang membentuk kesetimbangan maka untuk reaksi ke arah hasil reaksi yang bersifat eksoterm, reaksi ke arah sebaliknya bersifat endoterm dengan harga  $\Delta H$  sama, tetapi berbeda tanda.



## Sekilas Kimia

Henri Louis Le Chatelier  
(1850–1936)



Sumber: <http://dbhs.wvusd.k12.ca.us>

Henri Louis Le Chatelier adalah profesor kimia berkebangsaan Prancis. Dia meneliti gas-gas yang menyebabkan ledakan di area pertambangan dan reaksi yang terjadi dalam ledakan campuran gas. Berdasarkan penelitiannya ini, Le Chatelier mengemukakan sebuah prinsip yang menyatakan: jika suatu gangguan (perubahan kimia, konsentrasi dan suhu) diberikan ke dalam sistem kesetimbangan maka sistem tersebut akan mengalami perubahan sehingga gangguan menjadi minimum.

Selain bidang-bidang penelitian tersebut Le Chatelier juga melakukan penelitian di bidang sintesis semen, sintesis kristal, dan metalurgi.

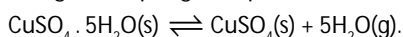


## Aktivitas Kimia 5.2

### Pengaruh Perubahan Suhu terhadap Sistem Kesetimbangan

Tujuan

Mengetahui pengaruh perubahan suhu terhadap sistem kesetimbangan

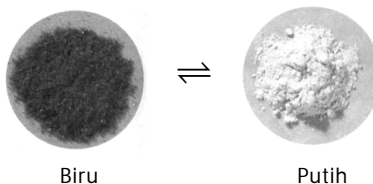


Alat

1. Cawan penguap
2. Bunsen, kaki tiga, kawat kasa
3. Gabus
4. Timbangan

Bahan

1. Padatan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
2. Air ( $\text{H}_2\text{O}$ )

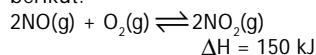






## Mahir Menjawab

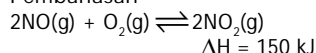
Perhatikan reaksi kesetimbangan berikut.



Apabila pada volume tetap suhu dinaikkan maka kesetimbangan bergeser ke arah ....

- A. kanan dan harga K tetap
- B. kiri dan harga K makin kecil
- C. kanan dan harga K makin besar
- D. kiri dan harga K makin besar

Pembahasan



Reaksi tersebut adalah reaksi endoterm. Apabila pada volume tetap suhu dinaikkan, reaksi akan bergeser ke arah kanan.

Perubahan suhu menyebabkan harga K semakin besar karena reaksi tersebut bergeser ke kanan maka harga K bertambah.

Jadi, jawabannya (B)

UNAS 2003

### Langkah Kerja

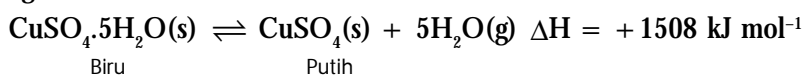
1. Panaskan 10 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dalam cawan penguap. Amati perubahan warna yang terjadi.
2. Biarkan padatan mendingin. Setelah dingin, tetesi dengan air. Amati perubahan yang terjadi.
3. Tuliskan pengamatan Anda dalam bentuk tabel.

Aktivitas	Pengamatan
Sebelum dipanaskan	
Sesudah dipanaskan	
Ditambah air	

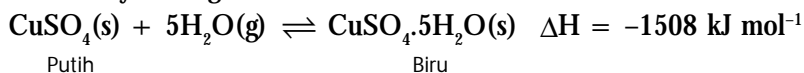
### Pertanyaan

1. Bagaimanakah warna tembaga(II) sulfat sebelum dipanaskan, setelah dipanaskan, dan setelah ditambah air?
2. Termasuk ke dalam reaksi jenis apa pemanasan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .
3. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan ini?

Pemanasan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  bertujuan untuk melepaskan hidrat yang terikat pada tembaga(II) sulfat pentahidrat. Persamaan termokimianya sebagai berikut.



Oleh karena reaksinya berkesetimbangan maka pada saat didinginkan (ditambah air), serbuk  $\text{CuSO}_4$  mengikat kembali molekul air. Persamaan termokimianya sebagai berikut.



Mengapa perubahan suhu dapat memengaruhi sistem reaksi kesetimbangan? Ke arah manakah posisi kesetimbangan akan bergeser jika suhu reaksi dinaikkan atau diturunkan?

Menurut Le Chatelier, jika reaksi kesetimbangan diubah suhunya maka sistem akan melakukan tindakan dengan cara meminimalkan pengaruh suhu tersebut. Pada Aktifitas Kimia 5.2, jika suhu dinaikkan, posisi kesetimbangan bergeser ke arah pelepasan hidrat (endoterm). Sebaliknya, jika suhu diturunkan, posisi kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan hidrat (eksoterm).

## Contoh 5.3

### Pengaruh Perubahan Suhu

Pembuatan amonia bersifat eksoterm. Persamaan termokimianya:



Tentukan pergeseran posisi kesetimbangan jika suhu sistem dinaikkan.

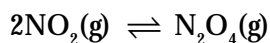
Jawab:

Jika suhu dinaikkan, posisi kesetimbangan akan bergeser ke arah reaksi endoterm. Oleh karena pembentukan amonia eksoterm, posisi kesetimbangan akan bergeser ke arah sebaliknya, yaitu penguraian amonia menjadi  $\text{N}_2(\text{g})$  dan  $\text{H}_2(\text{g})$ .

### 3. Gangguan terhadap Tekanan/Volume

Untuk sistem kesetimbangan yang melibatkan fasa padat atau cair, gangguan tekanan atau volume tidak berpengaruh, tetapi untuk sistem yang melibatkan fasa gas, gangguan tekanan terhadap sistem kesetimbangan sangat berpengaruh.

Perhatikan sistem reaksi kesetimbangan berikut.



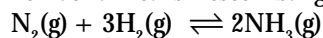
Jika tekanan sistem dinaikkan dengan cara memperkecil volume wadah, sistem akan bereaksi sedemikian rupa sehingga pengaruh volume sekecil mungkin. Bagaimanakah sistem akan bertindak? Tekanan diperbesar atau volume wadah diperkecil, memacu sistem untuk memperkecil pengaruh tekanan dengan cara mengurangi jumlah molekul. Frekuensi dan jumlah molekul yang bertumbukan dengan dinding wadah makin sedikit sehingga kenaikan tekanan menjadi minimum. Dengan demikian, posisi kesetimbangan akan bergeser ke arah yang jumlah molekulnya paling sedikit.

Pada reaksi pembentukan  $\text{N}_2\text{O}_4$ , ke arah mana posisi kesetimbangan akan bergeser? Ingat, perbandingan koefisien reaksi menyatakan perbandingan jumlah molekul. Oleh karena itu, kesetimbangan akan bergeser ke arah pembentukan  $\text{N}_2\text{O}_4$  sebab jumlah molekulnya setengah dari jumlah molekul  $\text{NO}_2$ .

### Contoh 5.4

#### Pengaruh Tekanan/ olume

Perhatikan reaksi kesetimbangan berikut:

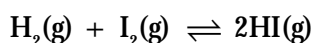


Jika tekanan dalam sistem kesetimbangan diturunkan, bagaimanakah pergeseran kesetimbangannya?

Jawab:

Penurunan tekanan akan menggeser posisi kesetimbangan ke arah yang jumlah molekulnya lebih banyak. Dalam sistem ini, posisi kesetimbangan akan bergeser ke arah pereaksi ( $\text{N}_2 + \text{H}_2$ ).

Berdasarkan uraian tersebut, jika tekanan sistem meningkat, posisi kesetimbangan akan bergeser ke arah jumlah molekul yang lebih sedikit seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9. Bagaimana jika jumlah molekul pereaksi sebanding dengan jumlah molekul hasil reaksi? Misalnya pada reaksi berikut.



Jika jumlah molekul pereaksi sebanding dengan hasil reaksi atau jumlah koefisien pereaksi sama dengan hasil reaksi maka perubahan tekanan atau volume sistem tidak akan berpengaruh terhadap sistem kesetimbangan.

Bagaimana jika ke dalam sistem reaksi yang berada dalam kesetimbangan ditambahkan gas lembam (inert) seperti gas mulia (He, Ne, Ar)? Apakah sistem kesetimbangan terganggu? Jika gas inert seperti He, Ne, atau Ar dimasukkan ke dalam sistem reaksi yang berada dalam kesetimbangan, tekanan total sistem meningkat sebab jumlah molekul bertambah.

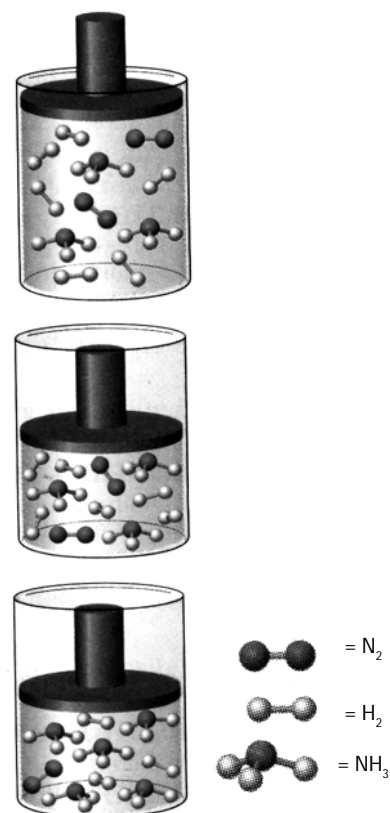
Tekanan total sistem merupakan jumlah aljabar dari tekanan parsial masing-masing komponen. Menurut Dalton:

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i$$

$P_{\text{total}}$  adalah tekanan total sistem.

$P_1, P_2, \dots, P_i$  adalah tekanan parsial masing-masing komponen gas.

Jika tekanan parsial dari komponen sistem berubah, komposisi gas akan berubah. Akibatnya, sistem kesetimbangan juga turut berubah. Hal ini karena tetapan kesetimbangan ditentukan oleh nilai tekanan parsial masing-masing komponen gas.



Sumber: Chemistry (McMurry), 2001

Gambar 5.9

Ketika tekanan diperbesar atau volume diperkecil, sistem kesetimbangan akan bergeser ke arah yang jumlah molekulnya sedikit.

Gas inert tidak bereaksi dengan komponen gas yang terdapat dalam sistem kesetimbangan sehingga komposisi dari masing-masing komponen sistem kesetimbangan tidak berubah. Akibatnya, penambahan gas inert tidak memengaruhi keadaan kesetimbangan. Penambahan gas inert ke dalam sistem kesetimbangan hanya menambah satu komponen tekanan parsial, sedangkan komponen parsial gas dalam sistem kesetimbangan tidak berubah.

## Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

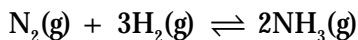
- Untuk sistem reaksi penguraian termal  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$  dan  $\text{CO}_2$ , variabel apa yang dapat Anda ukur untuk mengkaji sistem kesetimbangannya?
- Penguraian  $\text{H}_2\text{O}_2(\ell)$  menjadi  $\text{H}_2\text{O}(\ell)$  dan  $\text{O}_2(\text{g})$  membentuk reaksi kesetimbangan menurut persamaan:  $\text{H}_2\text{O}_2(\ell) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{O}_2(\text{g})$ 
  - ariabel apa yang dapat Anda ukur untuk mengkaji sistem tersebut?
  - Akan bergeser ke arah manakah posisi kesetimbangan jika gas  $\text{O}_2$  dikeluarkan dari sistem reaksi?
- Tinjau reaksi:  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ . Jika dalam sistem kesetimbangan ini sejumlah kecil gas HI dikeluarkan, bagaimana sistem kesetimbangan bereaksi? Gambarkan grafik kesetimbangan sebelum dan sesudah pengeluaran gas HI.
- Karbon monoksida dibentuk ketika karbon dioksida bereaksi dengan karbon padat dalam bentuk grafit. Persamaan termokimianya:  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H^\circ = -172,5 \text{ kJ}$  Pada suhu tinggi atau suhu rendah pembentukan karbon monoksida lebih banyak? Jelaskan.
- Indikator kelembapan dibuat dengan cara melapisi benda dengan hidrat kobalt(II) klorida, yang dapat berubah warna seperti berikut:  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{s})$   
(Merah muda) (Biru)  
Jika di udara terbuka terbentuk warna merah muda, apakah udara kering atau udara lembap? Jelaskan.
- Mengapa reaksi penguraian suatu zat, umumnya dilakukan pada suhu tinggi? Misalnya:  $\text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{I}(\text{g})$
- Penguraian  $\text{N}_2\text{O}_4$  menjadi  $\text{NO}_2$  bersifat eksoterm. Persamaannya:  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H^\circ = -58,8 \text{ KJ}$  Jika dalam dua buah gelas ukur masing-masing diisi dengan campuran  $\text{N}_2\text{O}_4$  dan  $\text{NO}_2$ , kemudian salah satunya direndam dalam es, dalam gelas ukur manakah konsentrasi  $\text{NO}_2$  lebih banyak?
- Analisislah persamaan reaksi kesetimbangan berikut. Apakah peningkatan tekanan sistem akan meningkatkan hasil reaksi atau tidak?
  - $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$
  - $\text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{COCl}_2(\text{g})$
  - $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NOBr}(\text{g})$
  - $\text{C}(\text{s}) + \text{S}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CS}_2(\text{g})$
  - $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HCl}(\text{g})$
- Perhatikan reaksi kesetimbangan berikut.  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NOBr}(\text{g})$  Gunakan prinsip Le Chatelier untuk meramalkan pengaruh aksi berikut terhadap posisi kesetimbangan jika:
  - tekanan sistem NO dinaikkan;
  - volume sistem digandakan dua kali; dan
  - ditambah gas helium.

## C. Hubungan Kuantitatif Preaksi dan Hasil Reaksi

Pada awal bab, telah dijelaskan makna tetapan kesetimbangan secara kualitatif, yaitu perbandingan konsentrasi zat-zat yang terlibat dalam sistem reaksi kesetimbangan dipangkatkan dengan koefisien reaksinya. Pada subbab ini, Anda akan menentukan secara kuantitatif hubungan antara konsentrasi preaksi dan hasil reaksi dalam sistem reaksi kesetimbangan.

### 1. Penentuan Tetapan Kesetimbangan, $K_c$

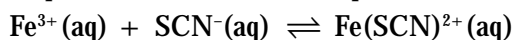
Masih ingatkah Anda cara menentukan tetapan kesetimbangan untuk sistem reaksi yang homogen dan heterogen? Perhatikan reaksi kesetimbangan berikut.



Dapatkan Anda menuliskan persamaan tetapan kesetimbangan untuk reaksi tersebut? Berapakah nilai tetapan kesetimbangan untuk reaksi tersebut? Untuk dapat menjawab pertanyaan ini, Anda harus mengetahui konsentrasi molar masing-masing zat yang ada dalam keadaan setimbang.

Konsentrasi molar zat-zat dalam sistem kesetimbangan hanya dapat diketahui dari hasil penyelidikan. Oleh karena itu, nilai tetapan kesetimbangan hanya dapat diketahui setelah Anda melakukan penyelidikan ilmiah.

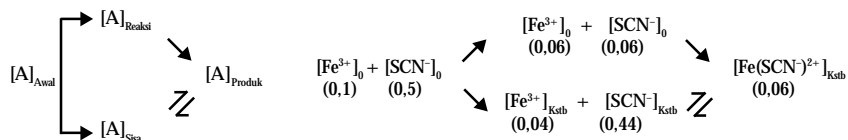
Masih ingatkah Anda dengan penyelidikan gangguan konsentrasi terhadap reaksi kesetimbangan? Anda mereaksikan larutan  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  dan larutan  $\text{KSCN}$ , dapat ditulis dalam bentuk persamaan ionnya:



Andaikan Anda mereaksikan  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  0,1 M dan  $\text{SCN}^{-}(\text{aq})$  0,5 M pada suhu tertentu. Setelah reaksi mencapai keadaan setimbang, diketahui bahwa konsentrasi  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  dalam sistem menjadi 0,04 M. Apakah makna yang terkandung dalam hasil penyelidikan ini? Untuk memahami makna yang terkandung dalam penyelidikan Anda, simak diagram kesetimbangan pada Gambar 5.10. Konsentrasi awal masing-masing pereaksi adalah  $[\text{Fe}^{3+}]_0 = 0,1 \text{ M}$  dan  $[\text{SCN}^{-}]_0 = 0,5 \text{ M}$ . Setelah reaksi mencapai kesetimbangan masih tersisa 0,04 M. Artinya, tidak semua  $\text{Fe}^{3+}$  habis bereaksi. Konsentrasi  $\text{Fe}^{3+}$  sisa tiada lain adalah konsentrasi  $\text{Fe}^{3+}$  dalam keadaan kesetimbangan:  $[\text{Fe}^{3+}]_{\text{kstb}} = 0,04 \text{ M}$ , selebihnya telah berubah menjadi hasil reaksi, yaitu sebanyak  $[\text{Fe}^{3+}]_0 - [\text{Fe}^{3+}]_{\text{kstb}} = 0,06 \text{ M}$ .

Berapa konsentrasi  $\text{SCN}^{-}$  dan konsentrasi  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  yang berada dalam kesetimbangan? Jawaban ini dapat diketahui berdasarkan koefisien reaksinya. Oleh karena rasio stoikiometri  $\text{SCN}^{-}$  terhadap  $\text{Fe}^{3+} = 1:1$  maka konsentrasi  $\text{SCN}^{-}$  yang bereaksi dengan  $\text{Fe}^{3+}$  sama, yaitu 0,06 M sehingga konsentrasi  $\text{SCN}^{-}$  dalam kesetimbangan  $[\text{SCN}^{-}]_{\text{kstb}}$  adalah  $0,5 \text{ M} - 0,06$  atau  $\text{M} = 0,44 \text{ M}$ .

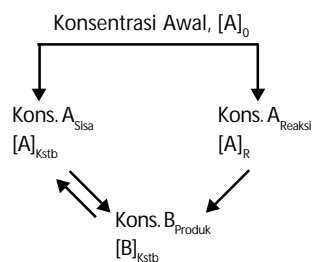
Konsentrasi  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  dalam kesetimbangan, juga dapat dihitung berdasarkan rasio stoikiometrinya, hasilnya:  $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]_{\text{kstb}} = 0,06 \text{ M}$ . Data hasil penyelidikan dapat diungkapkan ke dalam bentuk diagram kesetimbangan sebagai berikut.



Untuk memudahkan perhitungan, data konsentrasi masing-masing zat dapat juga ditabulasikan ke dalam tabel seperti berikut.

**Tabel 5.2** Contoh Tabulasi Data Sistem Kesetimbangan  $\text{Fe}^{3+} + \text{SCN}^{-} \rightleftharpoons \text{FeSCN}^{2+}$

Spesi Kimia	$\text{Fe}^3$	$\text{SCN}^{-}$	$\text{FeSCN}^{2}$
Konsentrasi awal (M)	0,1	0,5	-
Konsentrasi yang berubah (M)	-0,06	-0,06	+ 0,06
Konsentrasi kesetimbangan (M)	0,04	0,44	0,06



**Gambar 5.10**

Pereaksi A sebagian berubah menjadi B dan sisanya tetap sebagai A. Konsentrasi molar pada keadaan kesetimbangan adalah [A] sisa dan [B] hasil reaksi.

Untuk menentukan nilai tetapan kesetimbangan, nilai konsentrasi masing-masing spesi dalam keadaan kesetimbangan dimasukkan ke dalam persamaan tetapan kesetimbangan.

$$K_c = \frac{[\text{FeSCN}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^-]} \text{ atau } K_c = \frac{0,06}{(0,04)(0,44)} = 3,4$$

Dengan demikian, tetapan kesetimbangan hanya dapat ditentukan berdasarkan hasil penyelidikan yang dilakukan pada suhu tetap.

### Contoh 5.5

#### Menentukan Nilai Tetapan Kesetimbangan

Perhatikan reaksi kesetimbangan berikut.

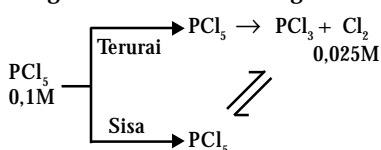


Jika konsentrasi awal  $\text{PCl}_5$  0,1 M dan setelah kesetimbangan tercapai ditemukan gas  $\text{Cl}_2$  0,025 M, berapakah tetapan kesetimbangan untuk sistem tersebut?

Jawab:

- Gunakan rasio stoikiometri untuk menentukan:  
konsentrasi  $\text{PCl}_5$  yang terurai dan  $\text{PCl}_5$  sisa.  
konsentrasi  $\text{PCl}_3$  yang terbentuk.
- Hitung tetapan kesetimbangannya.

Diagram reaksi kesetimbangan:



Oleh karena koefisien reaksi sama ( $RS = 1 : 1$ ) maka konsentrasi molar  $\text{PCl}_5$  terurai dan  $\text{PCl}_3$  terbentuk sama dengan konsentrasi  $\text{Cl}_2$  dalam kesetimbangan, yakni 0,025M. Konsentrasi  $\text{PCl}_5$  sisa adalah selisih  $[\text{PCl}_5]$  awal dan  $[\text{PCl}_5]$  terurai.

at	$\text{PCl}_5$	$\text{PCl}_3$	$\text{Cl}_2$
[Awal] / M	0,1	-	-
[Berubah] / M	-0,025	+0,025	+0,025
[Setimbang] / M	0,075	0,025	0,025

Setelah konsentrasi molar masing-masing zat dalam keadaan kesetimbangan diketahui maka tetapan kesetimbangan dapat dihitung, yaitu:

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]} = \frac{0,075}{(0,025)(0,025)} = 120$$

Jadi, nilai  $K_c$  untuk reaksi tersebut adalah 120.

Pada uraian tersebut, sistem reaksi kesetimbangan memiliki rasio stoikiometri atau koefisien reaksi yang sama. Bagaimana jika koefisien reaksi dalam kesetimbangan berbeda? Simak contoh soal berikut.

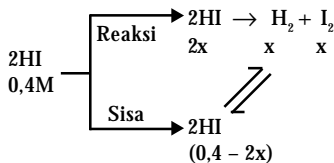
### Contoh 5.6

#### Menentukan Konsentrasi at dalam Kesetimbangan

Ke dalam reaktor dengan volume 10 L diisi 4 mol HI. Pada  $400^\circ\text{C}$  terbentuk reaksi kesetimbangan menurut persamaan berikut:  $2\text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ . Berapakah konsentrasi masing-masing zat pada keadaan setimbang? Diketahui harga  $K_c = 0,695$ .

Jawab:

1. Hitung konsentrasi molar HI awal.
  2. Buat diagram reaksi kesetimbangan. Sisipkan konsentrasi zat yang diketahui dan buat pemisalan untuk zat yang tidak diketahui, misalnya [x].
  3. Tentukan konsentrasi molar HI terurai, HI sisa, serta H<sub>2</sub> dan I<sub>2</sub> yang terbentuk berdasarkan rasio stoikiometrinya.
- Konsentrasi awal [HI]<sub>0</sub> = 4 mol/10 L = 0,4 M.
  - Diagram reaksi kesetimbangannya:



- Jika [HI] terurai 2x M maka [H<sub>2</sub>] dan [I<sub>2</sub>] terbentuk adalah x M, dan [HI] sisa = (0,4 - 2x) M.

Nilai x dapat ditentukan dari persamaan tetapan kesetimbangan, yaitu:

$$K_c = \frac{[\text{H}_2][\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} \text{ atau } 0,695 = \frac{(x)(x)}{(0,4 - 2x)^2}$$

Jika persamaan di atas dihitung secara aljabar akan diperoleh persamaan kuadrat sebagai berikut:

$$1,78x^2 - 1,11x + 0,11 = 0$$

Dengan menggunakan rumus persamaan kuadrat

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \text{ maka } x_1 = 0,5 \text{ atau } x_2 = 0,124$$

Jika nilai x<sub>1</sub> diambil maka konsentrasi HI yang terurai 2(0,5) = 1,0 M, sedangkan konsentrasi HI awal lebih kecil, yakni 0,4 M (tidak realistis).

Oleh karena itu, nilai x yang mewakili penguraian HI adalah x<sub>2</sub> = 0,124.

Dengan demikian, konsentrasi masing-masing zat dalam kesetimbangan adalah

$$[\text{H}_2] = x = 0,124 \text{ M}; [\text{I}_2] = x = 0,124 \text{ M};$$

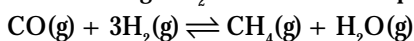
$$[\text{HI}] = 0,4 - 2x = 0,152 \text{ M}$$



### Contoh 5.7

#### Menentukan Konsentrasi at dan Tetapan Kesetimbangan

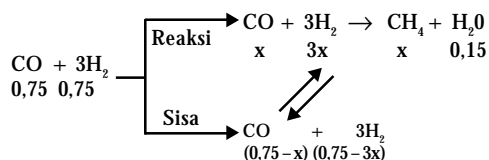
Gas CO dan gas H<sub>2</sub> bereaksi menurut persamaan berikut:



Jika konsentrasi awal CO dan H<sub>2</sub> masing-masing 0,75 M, dan setelah kesetimbangan dicapai diketahui terdapat H<sub>2</sub>O 0,15 M. Berapakah konsentrasi molar masing-masing zat dalam kesetimbangan? Berapa tetapan kesetimbangannya?

Jawab:

1. Buat diagram reaksi kesetimbangan.
2. Tentukan konsentrasi molar masing-masing zat dalam kesetimbangan.
3. Hitung tetapan kesetimbangan.



Konsentrasi zat dalam keadaan kesetimbangan dapat ditentukan berdasarkan perbandingan koefisien reaksi terhadap konsentrasi molar H<sub>2</sub>O.

$$[\text{H}_2\text{O}]_{\text{Kstb}} = 0,15 \text{ M}$$

$$[\text{CH}_4]_{\text{Kstb}} = 0,15 \text{ M}$$



### Mahir Menjawab

Dalam suatu tempat tertutup, berlangsung kesetimbangan:  $\text{PCl}_5(g) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(g) + \text{Cl}_2(g)$  jika volume diperkecil, dengan tetap menjaga suhu, maka:

1. jumlah mol PCl<sub>3</sub> berkurang
2. harga K<sub>c</sub> tidak berubah
3. jumlah mol PCl<sub>5</sub> bertambah
4. jumlah mol Cl<sub>2</sub> berubah

Pernyataan yang benar

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

Pembahasan

Jika volume diperkecil, reaksi bergeser ke arah jumlah koefisien terkecil (ke arah kiri) akibatnya:

- jumlah mol PCl<sub>3</sub> berkurang
- harga K<sub>c</sub> tetap (karena suhu tetap)
- jumlah mol PCl<sub>5</sub> bertambah
- jumlah mol Cl<sub>2</sub> berkurang

Jadi, jawabannya (A)

UNAS 2004





$$[\text{CO}]_{\text{Kstb}} = (0,75 - 0,15) \text{ M}$$

$$[\text{H}_2]_{\text{Kstb}} = (0,75 - 0,45) \text{ M}$$

Hasilnya ditabulasikan dalam tabel berikut:

at	C <sub>0</sub> (M)	Perubahan	C <sub>Kstb</sub> (M)
CO	0,75	0,15	0,60
H <sub>2</sub>	0,75	0,45	0,30
CH <sub>4</sub>	-		0,15
H <sub>2</sub> O	-		0,15

Harga tetapan kesetimbangannya sebagai berikut.

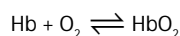
$$K_c = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^3} = \frac{(0,15)(0,15)}{(0,6)(0,3)^3} = 1,39$$



## Sekilas Kimia

### Toksitasitas CO

Manusia, seperti halnya makhluk hidup lainnya membutuhkan oksigen yang diperoleh melalui proses bernapas. Setiap manusia bernapas sekitar 500 mL udara masuk ke dalam paru-paru. Dari nilai tersebut hanya sekitar 3% terlarut dalam darah selebihnya berikatan dengan molekul hemoglobin (Hb). Reaksi oksigen dengan hemoglobin merupakan suatu sistem kesetimbangan.



Apakah yang terjadi apabila dalam udara yang kita hirup terdapat gas CO? Hemoglobin memiliki afinitas yang lebih besar terhadap CO dibanding O<sub>2</sub>. Akibatnya, sistem kesetimbangan mengalami gangguan berupa pengurangan konsentrasi Hb. Menurut asas Le Chatelier gangguan tersebut akan menyebabkan kesetimbangan bergeser ke arah kiri. Ini berarti, pasokan O<sub>2</sub> kepada sel tubuh berkurang. Apabila keadaan berlanjut dapat menyebabkan kematian.

Sumber: Chemistry The Central Science, 2000

## 2. Manipulasi Tetapan Kesetimbangan

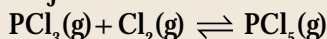
Jika reaksi yang berada dalam kesetimbangan dipelajari dari arah sebaliknya atau konsentrasi molar zat-zat yang bereaksi digandakan dengan faktor tertentu, bagaimana nilai tetapan kesetimbangannya? Semua manipulasi ini akan memengaruhi nilai tetapan kesetimbangan.

### a. Pembalikan Arah Reaksi Kesetimbangan

Jika persamaan reaksi kesetimbangan dikaji dari arah yang berlawanan maka nilai tetapan kesetimbangan yang baru merupakan kebalikan dari tetapan semula.

#### Contoh:

Tinjau sistem reaksi kesetimbangan berikut.



Persamaan untuk tetapan kesetimbangannya:

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

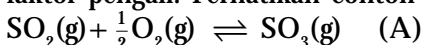
Jika dipelajari dari arah sebaliknya,  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$

Maka persamaan tetapan kesetimbangannya:

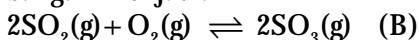
$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} \text{ atau } K_c = \frac{1}{K_c}$$

### b. Perkalian dengan Faktor Tertentu

Jika persamaan reaksi kesetimbangan dikalikan dengan faktor tertentu, nilai tetapan kesetimbangan yang baru merupakan pangkat dari faktor pengali. Perhatikan contoh berikut:



Jika persamaan dikalikan dengan faktor 2 maka persamaan reaksi kesetimbangan menjadi:



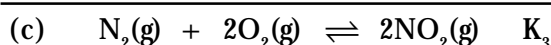
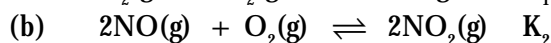
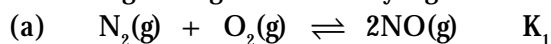
Persamaan tetapan kesetimbangan untuk reaksi (A) dan (B) berturut-turut sebagai berikut.

$$K_{cA} = \frac{[\text{SO}_3]}{[\text{SO}_2][\text{O}_2]^{\frac{1}{2}}} \text{ dan } K_{cB} = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = (K_{cA})^2$$

Secara umum dapat ditulis sebagai  $K_c = (K_c)^n$ , n sebagai faktor pengali.

c. Penjumlahan Reaksi Kesetimbangan

Dua atau lebih persamaan reaksi kesetimbangan dapat dijumlahkan menjadi satu persamaan. Hal ini dapat dilakukan jika zat-zat dalam sistem reaksi mengandung unsur-unsur yang sama. Perhatikan contoh berikut.



Persamaan tetapan kesetimbangan untuk ketiga sistem reaksi di atas adalah

$$(a) \quad K_1 = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \quad (b) \quad K_2 = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2[\text{O}_2]} \quad (c) \quad K_3 = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]^2}$$

Untuk mengetahui hubungan antara  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  dapat dilakukan perkalian antara  $K_1$  dan  $K_2$ .

$$K_1 \cdot K_2 = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \times \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2[\text{O}_2]} = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]^2}$$

Hasil perkalian  $K_1$  dan  $K_2$  tiada lain adalah persamaan tetapan untuk  $K_3$ . Dengan demikian, harga  $K_3$  merupakan hasil perkalian  $K_1$  dan  $K_2$ .

### Kegiatan Inkuiri



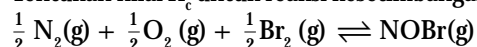
Simpulkan dengan kalimat Anda sendiri tentang manipulasi tetapan kesetimbangan, jika persamaan reaksi:

- dibalikkan arahnya,
- dikalikan dengan faktor tertentu, dan
- tahap-tahap reaksi kesetimbangan dijumlahkan.

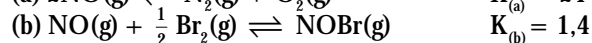
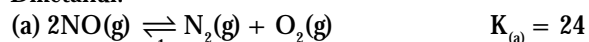
### Contoh 5.8

#### Memanipulasi Tetapan Kesetimbangan

Tentukan nilai  $K_c$  untuk reaksi kesetimbangan:

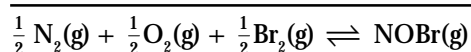
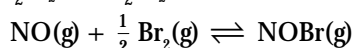
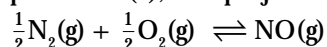


Diketahui:



Jawab:

Bentuk persamaan reaksi yang ditanyakan adalah setengah dan kebalikan dari persamaan (a), serta penjumlahan dengan persamaan (b).





## Sekilas Kimia

Fritz Haber  
(1868–1934)



Sumber: <http://nobelprize.org>

Fritz Haber yang lahir pada 9 Desember 1868 di Breslau, Jerman, adalah seorang ahli kimia Jerman yang memulai penelitiannya di bidang dekomposisi dan pembakaran hidrokarbon. Haber berhasil menemukan teknik sintesis amonia dari  $H_2$  dan  $N_2$  yang dapat digunakan untuk industri.

Dalam teknik sintesisnya, Haber menggunakan prinsip Le Chatelier untuk menentukan suhu dan tekanan optimum sintesis amonia menggunakan osmium sebagai katalis.

Perkalian dengan faktor  $\frac{1}{2}$  dan pembalikan arah reaksi (a) menghasilkan tetapan kesetimbangan:

$$K_c = \frac{1}{(K_{(a)})^2} = 0,2$$

Penjumlahan dengan reaksi (b) menghasilkan tetapan kesetimbangan berikut:

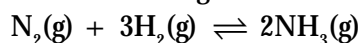
$$K_c = K_{(a)} \times K_{(b)} = 0,2 \times 1,4 = 0,28$$

Jadi, nilai tetapan kesetimbangan ( $K_c$ ) untuk reaksi pembentukan NOBr dari unsur-unsurnya adalah 0,28.

### 3. Tetapan Kesetimbangan dalam Bentuk Tekanan Parsial ( $K_p$ )

Pada topik sebelumnya, Anda sudah mengenal istilah tekanan parsial, yaitu tekanan salah satu komponen sistem yang terdapat dalam campuran gas. Selain dengan konsentrasi molar, tetapan kesetimbangan untuk sistem reaksi yang melibatkan gas dapat dinyatakan dengan tekanan parsial masing-masing komponen gas.

Simak sistem reaksi kesetimbangan berikut:



Bagaimanakah persamaan tetapan kesetimbangan untuk reaksi tersebut yang diungkapkan dalam bentuk tekanan parsial komponen gas?

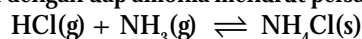
Pada dasarnya tetapan kesetimbangan dalam bentuk tekanan parsial tidak berbeda dengan tetapan kesetimbangan dalam konsentrasi molar. Dalam bentuk tekanan parsial diungkapkan sebagai berikut.

$$K = \frac{P_{NH_3}^2}{P_{N_2} P_{H_2}^3} \Rightarrow \frac{(P_{NH_3})^2}{P_{N_2} (P_{H_2})^3}$$

$K_p$  adalah tetapan kesetimbangan dalam bentuk tekanan parsial.  $(P_{NH_3})^2$ ,  $P_{N_2}$ ,  $(P_{H_2})^3$  adalah tekanan parsial masing-masing komponen gas dalam kesetimbangan yang dipangkatkan dengan koefisien reaksinya.

### Contoh 5.9

Menentukan Tekanan Parsial Gas dalam Sistem Kesetimbangan  
Uap HCl dapat bereaksi dengan uap amonia menurut persamaan:



Jika nilai  $K_p = 0,15$ , berapakah tekanan parsial komponen gas dalam sistem kesetimbangan tersebut?

Jawab:

1. Lakukan pemisalan untuk menentukan tekanan parsial masing-masing komponen.
2. Hitung tekanan parsial masing-masing komponen gas menggunakan tetapan kesetimbangan.

Oleh karena  $NH_4Cl$  zat murni, tidak perlu dihitung dalam tetapan kesetimbangan. Koefisien reaksi HCl dan  $NH_3$  sama sehingga tekanan parsialnya juga sama, misalnya  $x$  atm.

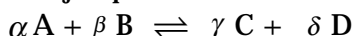
Persamaan tetapan kesetimbangan untuk reaksi ini adalah sebagai berikut.

$$K_p = \frac{1}{P_{HCl} P_{NH_3}} = \frac{1}{(x)(x)} \text{ atau } x^2 = \frac{1}{0,15}, x = 2,58$$

Dengan demikian, tekanan parsial HCl dan  $NH_3$  besarnya sama yaitu 2,58 atm.

#### 4. Hubungan $K_p$ dan $K_c$

Dalam reaksi kesetimbangan yang melibatkan gas, nilai  $K$  dan  $K_c$  dapat sama atau beda. Tinjau persamaan reaksi hipotetik berikut.



Tetapan kesetimbangan untuk reaksi tersebut dalam bentuk tekanan parsial dan konsentrasi molar adalah sebagai berikut.

$$K = \frac{P_C^\gamma P_D^\delta}{P_A^\alpha P_B^\beta} \text{ dan } K_c = \frac{[C]^\gamma [D]^\delta}{[A]^\alpha [B]^\beta}$$

Bagaimanakah hubungan antara  $K$  dan  $K_c$  dalam sistem reaksi yang sama? Apakah memiliki nilai yang sama atau beda?

Masih ingatkah Anda tentang persamaan gas ideal yang berguna untuk menentukan volume molar gas nonstandar? Persamaan tersebut dapat menunjukkan hubungan tekanan dan konsentrasi molar gas. Persamaannya adalah  $P = nRT$ .

Persamaan ini dapat diubah menjadi:

$$P = \frac{n}{V} RT \text{ atau } P = [C] RT$$

Tekanan parsial A dapat ditulis sebagai:  $P_A = [A] RT$ .

Dengan memasukkan persamaan tekanan parsial komponen gas ke dalam persamaan  $K$ , diperoleh:

$$K = \frac{P_C^\gamma P_D^\delta}{P_A^\alpha P_B^\beta} = \frac{([C]RT)^\gamma ([D]RT)^\delta}{([A]RT)^\alpha ([B]RT)^\beta} \text{ atau } K = \frac{[C]^\gamma [D]^\delta}{[A]^\alpha [B]^\beta} (RT)^{(\gamma+\delta)-(\alpha+\beta)}$$

Persamaan tersebut masih dapat disederhanakan menjadi:

$$K = K_c (RT)^{\Delta n}, \Delta n \text{ adalah selisih koefisien reaksi.}$$



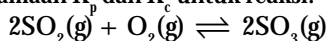
$\Delta n$  = Jumlah mol hasil reaksi – jumlah mol pereaksi

$\Delta n$  = Total mol of product – total mol of reactant.

### Contoh 5.10

#### Menghitung Tetapan Kesetimbangan Sistem Gas

- Tuliskan rumus persamaan  $K_p$  dan  $K_c$  untuk reaksi:



Bagaimanakah hubungan antara  $K$  dan  $K_c$  untuk reaksi tersebut?

Jawab:

$$K = \frac{P_{\text{SO}_3}^2}{P_{\text{SO}_2}^2 P_{\text{O}_2}} \text{ dan } K_c = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]}$$

Pada persamaan reaksi di atas,  $\Delta n = (2 - 3) = -1$ .

Dengan demikian,  $K_p = K_c (RT)^{-1}$ .

- Pada 300K, nilai  $K_p$  untuk reaksi oksidasi  $\text{SO}_2$  tersebut adalah 7,5.

Tentukan nilai  $K_c$ .

Jawab:

Hubungan  $K_p$  dan  $K_c$  adalah  $K_p = K_c (RT)^{-1}$

Nilai  $K_c$  untuk reaksi tersebut:

$$7,5 = K_c (0,082 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300 \text{ K})^{-1}$$

$$K_c = 0,3$$

Jadi, nilai tetapan kesetimbangan dalam konsentrasi molar sebesar 0,3 (nilai  $K_c$  tidak sama dengan  $K_p$ ).

## Kegiatan Inkuiri



Diskusikan di dalam kelas, pada kondisi bagaimanakah nilai  $K_p$  sama dengan  $K_c$ .  
Kata kunci:  $\Delta n$

### Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

- Ke dalam reaktor dengan volume 2 liter, dimasukkan 1 mol  $H_2(g)$  dan 1 mol  $I_2(g)$  pada suhu tetap. Setelah kesetimbangan tercapai, ditemukan 1,56 mol  $HI(g)$ . Hitung  $K_c$  untuk reaksi kesetimbangan berikut:  
 $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$
- Pada suhu tertentu, reaksi berikut memiliki nilai tetapan,  $K_c = 2,5 \times 10^4$ :  
 $H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$   
Jika 0,5 mol  $H_2$  dan 0,5 mol  $Cl_2$  dimasukkan ke dalam tabung, berapakah jumlah mol  $HCl$  yang terdapat dalam kesetimbangan?
- Fosfor pentaklorida terurai menurut persamaan berikut:  
 $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g) \quad K_c = 1,8 \text{ (250}^\circ\text{C)}$   
Jika 0,5 mol  $PCl_5$  disuntikkan ke dalam 2 liter reaktor pada suhu tetap, berapakah perbandingan konsentrasi molar  $PCl_5$  dan  $PCl_3$  dalam kesetimbangan?
- Tinjau persamaan reaksi kesetimbangan berikut:  
 $Ni(s) + 4CO(g) \rightleftharpoons Ni(CO)_4(g)$   
Jika konsentrasi  $Ni(CO)_4$  dalam kesetimbangan itu 0,85 M dan nilai  $K_c = 5 \times 10^4$ , hitung konsentrasi  $CO(g)$  dalam kesetimbangan.
- Diketahui dua buah persamaan reaksi kesetimbangan berikut:  
(a)  $H^+(aq) + NO_2^-(aq) \rightleftharpoons HNO_2(l)$   
 $K_1 = 2,2 \times 10^3$   
(b)  $H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$   
 $K_2 = 1,0 \times 10^{-14}$   
Tentukan tetapan kesetimbangan untuk reaksi berikut:  
 $NO_2^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HNO_2(aq) + OH^-(aq)$
- Pada suhu tertentu, terbentuk kesetimbangan reaksi berikut:  
 $2ICl(g) \rightleftharpoons I_2(g) + Cl_2(g)$   
Nilai  $K_c$  untuk persamaan tersebut adalah 0,11. Tentukan nilai  $K_c$  untuk reaksi kebalikannya:  
 $I_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2ICl(g)$
- Pada 1.250K, metana bereaksi dengan uap air menurut persamaan:  
 $CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g)$   
Setelah keadaan kesetimbangan tercapai, ditemukan bahwa  $P(CH_4) = 0,31 \text{ atm}$ ;  $P(H_2O) = 0,83 \text{ atm}$ ;  $P(CO) = 0,57 \text{ atm}$ ; dan  $P(H_2) = 2,26 \text{ atm}$ . Hitung  $K_p$  untuk reaksi tersebut?
- Gas fluorin berdisosiasi membentuk atom-atomnya ketika dipanaskan:  
 $\frac{1}{2} F_2(g) \rightleftharpoons F(g)$   
Nilai  $K_p$  adalah  $7,55 \times 10^{-2}$ . Berapa tekanan parsial masing-masing gas?
- Tetapan kesetimbangan untuk persamaan kimia berikut:  
 $C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$   
adalah  $K_p = 1,9$ . Jika tekanan  $CO$  dalam kesetimbangan 1,5 atm, berapakah tekanan  $CO_2$ ?
- Amonium hidrogen sulfida terurai menurut persamaan berikut:  
 $NH_4HS(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + H_2S(g)$   
Tetapan kesetimbangan molarnya,  $K_c = 1,81 \times 10^{-4}$  pada  $25^\circ\text{C}$ . Jika pada suhu itu,  $NH_4HS$  dimasukkan ke dalam reaktor, berapakah tekanan total gas dalam tabung pada saat kesetimbangan tercapai?
- Pada 1250K, metana bereaksi menurut persamaan berikut:  
 $CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g)$   
Pada keadaan setimbang, ditemukan tekanan  $CH_4 = 0,31 \text{ atm}$ ;  $H_2O = 0,83 \text{ atm}$ ;  $CO = 0,57 \text{ atm}$ ; dan  $H_2 = 2,26 \text{ atm}$ . Tentukan nilai  $K_c$  dan konsentrasi molar masing-masing gas.
- Tetapan kesetimbangan molar untuk reaksi:  
 $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$   
adalah 617 pada 300K. Berapa nilai  $K_p$ ? Apakah nilai  $K_p$  sama dengan nilai  $K_c$ ?

## D. Reaksi Kesetimbangan di Industri Kimia

Reaksi-reaksi yang berkesetimbangan merupakan masalah bagi industri, mengapa? Industri memerlukan produk yang efektif dan efisien dengan biaya semurah-murahnya. Dalam reaksi kesetimbangan, produk yang dihasilkan tidak efektif karena dapat membentuk kembali pereaksi. Untuk menghasilkan produksi yang maksimal diperlukan pengetahuan untuk menggeser posisi kesetimbangan ke arah produk.

## 1. Industri Amonia

Amonia merupakan bahan dasar untuk pembuatan pupuk, sebagai pelarut, pembersih, dan banyak lagi produk sintetis yang menggunakan bahan dasar amonia. Amonia disintesis dari gas  $N_2$  dan  $H_2$  melalui proses Haber seperti ditunjukkan pada Gambar 5.11, reaksinya membentuk kesetimbangan. Secara termokimia, pembentukan amonia bersifat eksotermis. Persamaan termokimianya sebagai berikut.



Masalah utama sintesis amonia adalah bagaimana menggeser posisi kesetimbangan ke arah kanan agar dihasilkan amonia semaksimal mungkin. Apakah Anda punya gagasan atau saran untuk hal ini?

Saran pertama tentu pereaksi harus dipasok terus menerus agar posisi kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan amonia. Saran kedua, suhu dan tekanan sistem harus optimal. Bagaimana caranya?

### a. Optimasi Suhu

Oleh karena pembentukan amonia bersifat eksoterm maka untuk mengoptimalkan produksi amonia, suhu reaksi harus tinggi atau rendah? Tentunya harus rendah karena suhu reaksi yang tinggi akan menggeser kesetimbangan ke arah reaksi endoterm (penguraian amonia).

Jika suhu terlalu rendah, reaksi berlangsung sangat lambat (hampir tidak bereaksi). Jika suhu terlalu tinggi, reaksi bergeser ke arah penguraian amonia. Jadi, bagaimana cara yang efektif dan efisien? Dalam kasus seperti ini, perlu ditentukan suhu optimum (tidak terlalu tinggi, juga tidak terlalu rendah). Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa suhu optimum pembentukan amonia sekitar  $450^\circ\text{C}$ – $500^\circ\text{C}$  (perhatikan Gambar 5.12).

### b. Optimasi Tekanan

Selain optimasi suhu, tekanan juga perlu dioptimasi, mengapa? Ini dikarenakan sintesis amonia melibatkan fasa gas dan rasio stoikiometri antara pereaksi dan hasil reaksi tidak sama.

Koefisien reaksi pembentukan amonia lebih kecil dari koefisien pereaksi sehingga tekanan harus tinggi. Dalam praktiknya, tekanan yang diterapkan sekitar 250 atm (perhatikan Gambar 5.12a).

Mengapa tekanan yang diterapkan tidak lebih tinggi lagi? Hal ini berkaitan dengan aspek teknologi. Semakin tinggi tekanan maka diperlukan peralatan yang sangat kuat agar tidak terjadi ledakan.

## 2. Industri Asam Sulfat

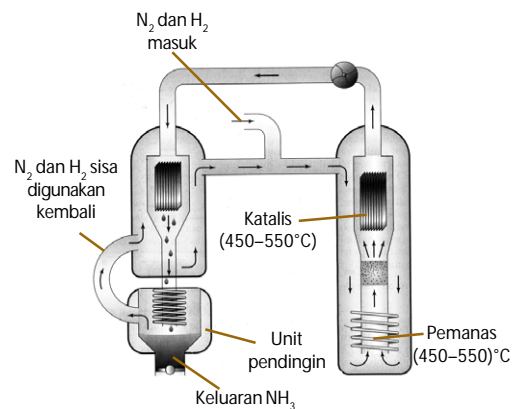
Di Indonesia, asam sulfat merupakan salah satu bahan baku untuk membuat pupuk, pigmen dan cat, pembuatan besi dan baja, pembuatan pulp dan kertas, pengisi sel accumulator, pelarut, pengatur pH di dalam proses industri, pendehidrasi, serta pembuatan produk-produk kimia lainnya, seperti amonium sulfat dan kalsium hidrofosfat.

Pembuatan asam sulfat di industri dikembangkan melalui proses kontak seperti pada Gambar 5.13, dengan tiga tahap utama sebagai berikut.

1. Pembentukan belerang dioksida, persamaan reaksinya adalah  $S(l) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$
2. Pembentukan belerang trioksida, persamaan reaksinya adalah  $SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) \quad \Delta H = -190 \text{ kJ}$
3. Pembentukan asam sulfat, melalui zat antara, yaitu asam piro-sulfat. Persamaan reaksinya adalah

## Kata Kunci

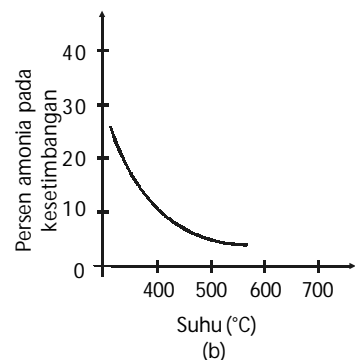
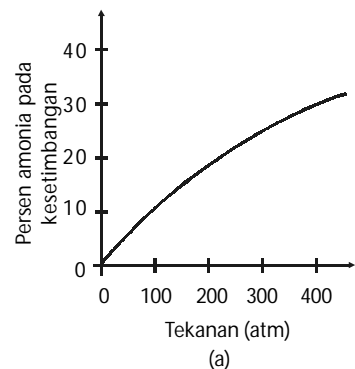
- Proses Kontak
- Prinsip Le Chatelier



Sumber: Chemistry The Central Science, 2000

Gambar 5.11

Diagram sintesis amonia (proses Haber)

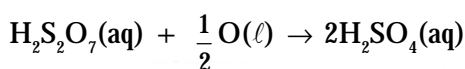
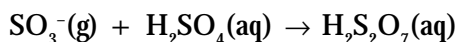


Sumber: Chemistry For You, 2002

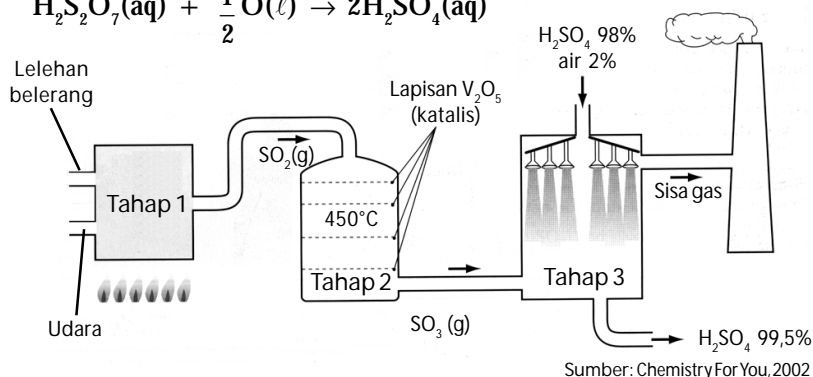
Gambar 5.12

Kurva optimasi pada sintesis amonia  
(a) Tekanan  
(b) Suhu





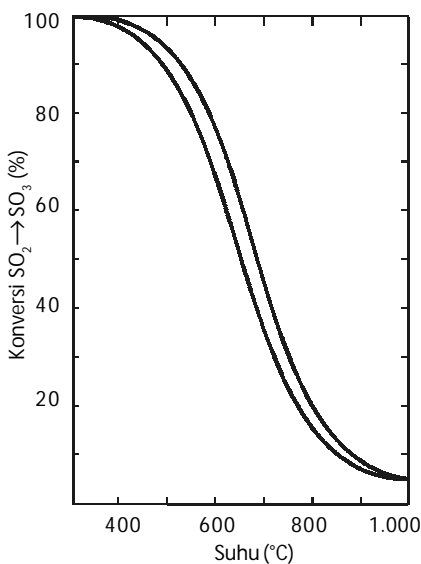
Gambar 5.13  
Diagram proses kontak  
(sintesis asam sulfat)



Dari ketiga tahapan tersebut, tahap dua merupakan tahap yang menentukan efisiensi produk asam sulfat sebab membentuk reaksi kesetimbangan. Jika optimasi sistem reaksi tepat maka akan diperoleh gas SO<sub>3</sub> yang maksimal. Bagaimana cara mengoptimasi pembentukan SO<sub>3</sub> pada tahap kedua tersebut?

a. Optimasi Suhu

Oleh karena pembentukan SO<sub>3</sub> bersifat eksoterm, efektivitas pembentukan SO<sub>3</sub> dioperasikan pada suhu rendah. Kendalanya, sama seperti pada kasus pembuatan amonia. Jika suhu terlalu rendah maka reaksi berlangsung sangat lambat. Akan tetapi, jika suhu terlalu tinggi, reaksi bergeser ke arah penguraian SO<sub>3</sub>. Selain itu, katalis menjadi tidak berfungsi. Berdasarkan hasil penyelidikan, suhu optimum pembentukan SO<sub>3</sub> sekitar 450°C – 500°C (perhatikan Gambar 5.14).



Sumber: Shreve's Chemical Process Industries, 2002

Gambar 5.14  
Kurva optimasi suhu pada sintesis  
asam sulfat

b. Optimasi Tekanan

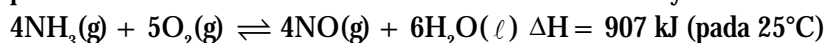
Berdasarkan data koefisien reaksi, Anda dapat menduga bahwa tekanan yang dioperasikan harus tinggi, agar posisi kesetimbangan bergeser ke arah produk. Umumnya, tekanan yang dioperasikan berkisar antara 2–3 atm. Tekanan tinggi tidak dapat dioperasikan dalam proses ini sebab peralatannya tidak mendukung (SO<sub>3</sub> bersifat korosif terhadap logam).

3. Industri Asam Nitrat

Asam nitrat banyak digunakan dalam pembuatan pupuk, nitrasi senyawa organik untuk bahan eksplosif, plastik, celupan, dan pennis, juga sebagai bahan oksidator dan pelarut. Di industri, pembuatan asam nitrat menggunakan proses Ostwald, yaitu pembuatan asam nitrat dari bahan mentah amonia dan udara. Proses pembuatan asam nitrat melalui tiga tahapan, yaitu:

a. Tahap pembentukan nitrogen oksida.

Campuran amonia dan udara berlebih dialirkan melewati katalis Pt–Rh pada suhu 850°C dan tekanan 5 atm. Persamaan reaksinya:



b. Tahap pembentukan nitrogen dioksida

Nitrogen monoksida dioksidasi kembali dengan udara membentuk gas nitrogen dioksida. Persamaan reaksinya:



Tahap pembentukan asam nitrat

Nitrogen dioksida bersama-sama dengan udara berlebih dilarutkan dalam air panas 80°C membentuk asam nitrat. Persamaannya:



Pada proses Ostwald, ada dua tahap reaksi yang membentuk kesetimbangan, yaitu tahap satu dan tahap dua. Kedua tahap itu bersifat eksotermis dan memiliki koefisien reaksi yang berbeda, yaitu koefisien hasil reaksi lebih kecil dari koefisien pereaksi.

Pada tahap dua, reaksi tidak efisien pada suhu tinggi, sehingga gas NO panas yang terbentuk pada tahap pertama didinginkan dengan memasok udara dingin, sekaligus berfungsi untuk mengoksidasi gas NO menjadi NO<sub>2</sub>.

### Kegiatan Inkuiri



Carilah informasi tentang bagaimana mengoptimasi suhu dan tekanan dalam industri asam nitrat. Kerjakan secara berkelompok dan presentasikan di kelas.

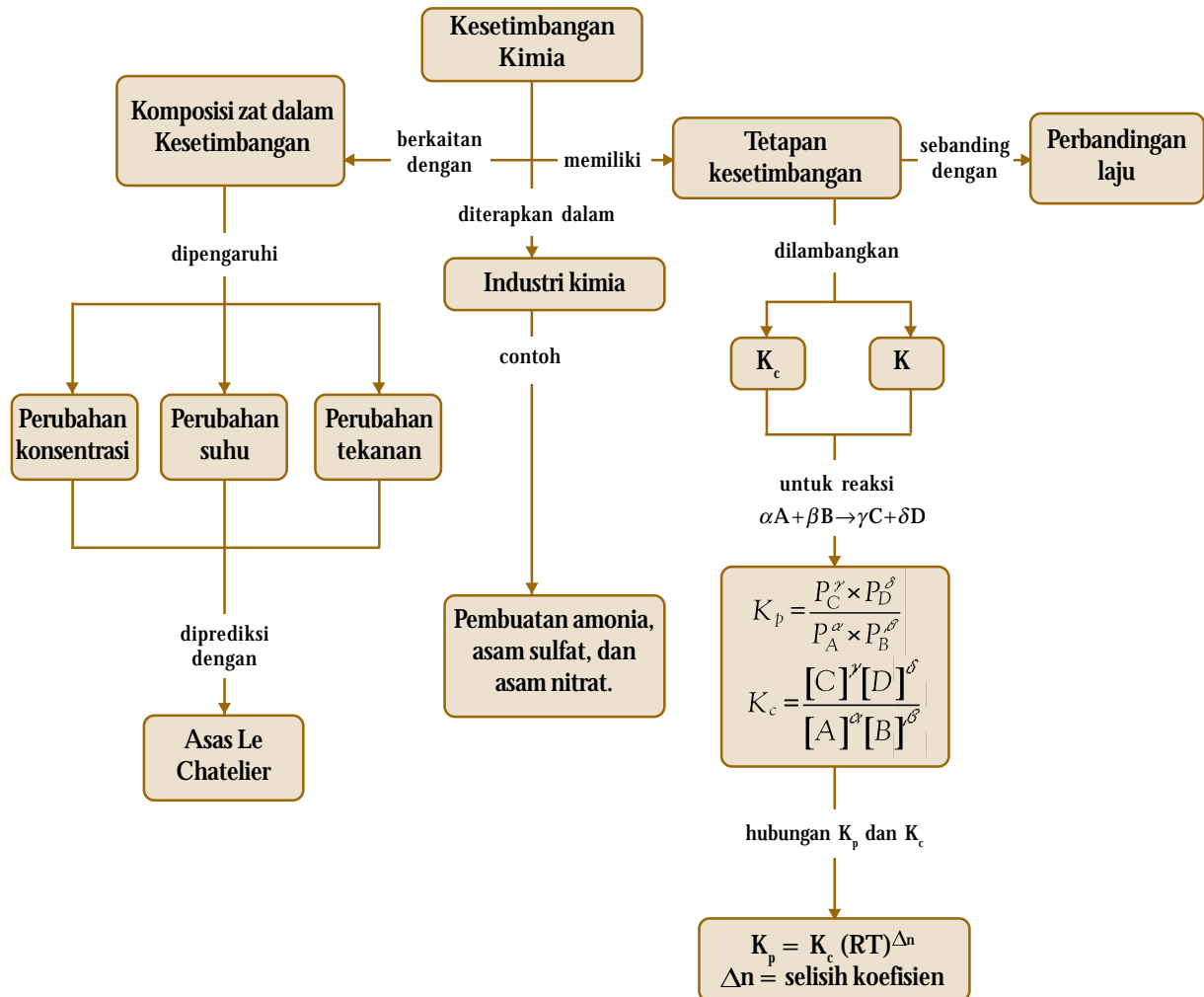
### Tes Kompetensi Subbab D

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Jika Anda sebagai konsultan pada perusahaan minuman bersoda. Apakah yang akan Anda lakukan agar kelarutan CO<sub>2</sub> dalam minuman tinggi? Diketahui reaksi pelarutan CO<sub>2</sub> bersifat endoterm.
2. Untuk menanggulangi udara yang tercemar oleh gas buang CO, gas CO direaksikan dengan uap air agar berubah menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>. Reaksi yang terjadi membentuk kesetimbangan dan bersifat endoterm. Apakah cara untuk mempercepat proses tersebut?

### Rangkuman

1. Dalam reaksi kimia ada yang satu arah, reaksi dua arah, dan reaksi yang membentuk kesetimbangan dinamis.
2. Reaksi yang membentuk kesetimbangan dinamis adalah reaksi dua arah dalam waktu bersamaan dengan laju yang sama.
3. Kesetimbangan dinamis adalah keadaan suatu pereaksi dan hasil reaksi yang secara makroskopik tidak berubah, tetapi keadaan mikroskopiknya berubah setiap saat dalam dua arah dengan laju sama.
4. Tetapan kesetimbangan adalah suatu besaran yang harganya tetap, diperoleh dari perbandingan konsentrasi produk terhadap konsentrasi pereaksi dan masing-masing dipangkatkan dengan koefisien reaksinya.
5. Harga tetapan kesetimbangan diperoleh dari hukum aksi massa yang harganya tetap selama suhu reaksi tidak berubah.
6. Kesetimbangan kimia sistem heterogen untuk zat padat murni atau cairan murni tidak berubah, sehingga tidak memengaruhi nilai tetapan kesetimbangan. Oleh karena itu, tidak terlibat dalam persamaan tetapan kesetimbangan.
7. Faktor-faktor yang dapat memengaruhi keadaan kesetimbangan adalah perubahan konsentrasi, suhu, dan tekanan atau volume.
8. Menurut Le Chatelier, jika sistem reaksi kesetimbangan diganggu, sistem akan berusaha mengurangi gangguan itu dengan cara melakukan pergeseran posisi kesetimbangan, baik ke arah pereaksi maupun ke arah produk sampai dengan tercapai keadaan kesetimbangan yang baru.
9. Tetapan kesetimbangan dalam bentuk molaritas (K<sub>c</sub>) dihitung berdasarkan konsentrasi molar zat-zat hasil reaksi dibagi konsentrasi molar zat-zat pereaksi sisa yang masih terdapat dalam sistem kesetimbangan, masing-masing dipangkatkan oleh koefisien reaksinya.
10. Tetapan kesetimbangan dalam bentuk tekanan (K<sub>p</sub>) dihitung berdasarkan tekanan parsial gas-gas hasil reaksi dibagi tekanan parsial gas-gas pereaksi sisa yang masih ada dalam sistem kesetimbangan masing-masing dipangkatkan dengan koefisien reaksinya.
11. Hubungan K<sub>p</sub> dan K<sub>c</sub> dinyatakan melalui persamaan:  $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ , R adalah tetapan gas, T = suhu sistem reaksi, dan Δn adalah selisih koefisien reaksinya.
12. Dalam industri kimia, banyak reaksi kimia yang membentuk keadaan setimbang sehingga perlu dilakukan upaya untuk menggeser posisi kesetimbangan ke arah produk. Hal ini dapat dilakukan dengan mengoptimasi suhu, tekanan, dan penambahan katalis.



### Refleksi

Pada bab ini Anda telah mempelajari bahwa di alam ini tidak semua reaksi kimia merupakan reaksi satu arah, terdapat juga reaksi kesetimbangan. Dengan mempelajari reaksi kesetimbangan Anda telah mengetahui faktor-faktor yang memengaruhinya

sehingga dapat memanipulasi keadaan reaksi agar memperoleh hasil yang menguntungkan. Menurut Anda, apa manfaat lainnya dari mempelajari kesetimbangan kimia ini?



A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.

- Suatu reaksi dapat balik (dua arah) jika ....
  - jumlah molekul pereaksi sama dengan jumlah molekul produk
  - reaksi berkesudahan
  - volume gas pereaksi sama dengan volume gas produk reaksi
  - konsentrasi pereaksi sama dengan konsentrasi produk
  - Reaksi ke arah produk dapat bereaksi kembali membentuk pereaksi

2. Ebtanas 2000:

Reaksi membentuk kesetimbangan dinamis jika ....

- reaksi sudah berhenti
- reaksi ke arah produk lebih cepat
- terjadi perubahan makroskopis
- komponen yang masih ada hanya hasil reaksi
- laju reaksi ke arah hasil dan ke arah pereaksi sama dan tidak bergantung waktu

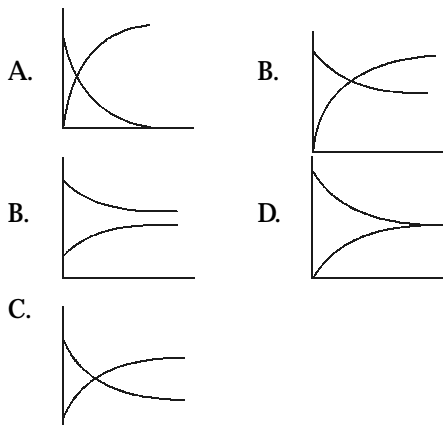
3. Suatu reaksi dinyatakan berada dalam keadaan kesetimbangan jika memenuhi sifat berikut, kecuali ....

- sifat-sifat makroskopik tidak berubah
- perubahan mikroskopik tidak bergantung waktu
- konsentrasi pereaksi dan konsentrasi produk tetap selama suhu tidak berubah
- perubahan suhu sistem akan mengubah nilai tetapan kesetimbangannya
- molekul-molekul dalam sistem kesetimbangan tidak berubah selama suhu tetap

4. Di antara persamaan kesetimbangan kimia berikut yang memiliki tetapan kesetimbangan sebesar  $K = \frac{1}{[H]}$  adalah ....

- $H_2(g) + S(s) \rightleftharpoons H_2S(s)$
- $H_2(g) + S(s) \rightleftharpoons H_2S(g)$
- $H_2(g) + S(s) \rightleftharpoons H_2S(g)$
- $H_2(g) + S(g) \rightleftharpoons H_2S(g)$
- $H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons HCl(g)$

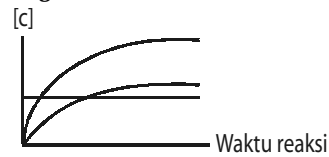
5. Grafik berikut menyatakan reaksi dalam keadaan kesetimbangan dinamis, kecuali ....



6. Berikut ini yang menyatakan perbandingan reaksi (Q) yang salah adalah ....

- nilai Q dan K selalu sama
- nilai Q dapat lebih besar dari K
- nilai Q dapat lebih kecil dari K
- nilai Q kadang-kadang berharga nol
- nilai Q berubah terhadap waktu sampai reaksi setimbang

7. Grafik berikut menyatakan reaksi dalam keadaan kesetimbangan dinamis.



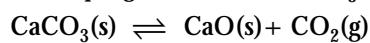
Grafik tersebut menggambarkan reaksi ....

- $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$
- $2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$
- $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$
- $CuSO_4 \cdot 5H_2O(s) \rightleftharpoons CuSO_4(s) + 5H_2O(g)$
- $(NH_4)_2SO_3(s) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + H_2SO_3(g)$

8. Di antara reaksi berikut yang merupakan kesetimbangan heterogen adalah ....

- $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$
- $2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$
- $CCl_4(l) \rightleftharpoons CCl_4(g)$
- $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$
- $2NO(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$

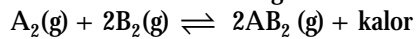
9. Reaksi penguraian termal  $CaCO_3$  adalah:



Tetapan kesetimbangan untuk reaksi tersebut ....

- $K_c = \frac{(P_{CaO})(P_{CO_2})}{(P_{CaCO_3})}$
- $K_c = \frac{[CaO][CO_2]}{[CaCO_3]}$
- $K_c = \frac{(P_{CaCO_3})}{(P_{CaO})(P_{CO_2})}$
- $K_c = [CO_2]$
- $K_c = \frac{[CaCO_3]}{[CaO][CO_2]}$

10. Dalam reaksi kesetimbangan:



Kesetimbangan akan bergeser ke arah kiri jika ....

- mengurangi hasil reaksi
- menaikkan tekanan dan suhu
- meningkatkan tekanan dan menurunkan suhu
- mengurangi gas  $B_2$
- menambah gas  $A_2$  secara berlebihan

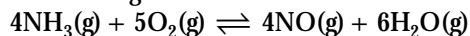
11. Jika kesetimbangan bergeser ke arah kanan, volumenya menjadi dua kali. Terjadi pada reaksi ....
- $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HCl}(\text{g})$
  - $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$
  - $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g})$
  - $\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$
  - $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
12. Di antara reaksi-reaksi berikut, reaksi yang akan bergeser ke kanan jika tekanan diperbesar adalah ....
- $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$
  - $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$
  - $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$
  - $2\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$
  - $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$
13. Ebtanas 1997:  
Pada sistem kesetimbangan berikut:  
 $2\text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = 380 \text{ kJ mol}^{-1}$   
Jika suhu diturunkan, konsentrasi ....
- $\text{SO}_3$  tetap
  - $\text{SO}_3$  bertambah
  - $\text{SO}_2$  dan  $\text{O}_2$  tetap
  - $\text{SO}_2$  tetap
  - $\text{O}_2$  bertambah
14. UMPTN 1996/C:  
Reaksi kesetimbangan berikut yang tidak mengalami pergeseran jika volumenya diperbesar adalah ....
- $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$
  - $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
  - $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
  - $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$
  - $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$
15. Ebtanas 1998:  
Diketahui persamaan kesetimbangan:  
 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g}) \quad \Delta H = -x \text{ kkal}$   
Jika volume diperbesar, kesetimbangan ....
- bergeser ke kiri
  - bergeser ke kanan
  - tetap tidak berubah
  - bergeser ke arah reaksi eksoterm
  - bergeser ke arah reaksi endoterm
16. Campuran gas terdiri atas  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , dan  $\text{O}_2$  berada dalam keadaan kesetimbangan. Jika campuran dimampatkan pada suhu tetap maka ....
- jumlah mol  $\text{SO}_3$  bertambah
  - jumlah mol  $\text{SO}_2$  bertambah
  - jumlah mol  $\text{O}_2$  bertambah
  - jumlah mol  $\text{SO}_2$  dan  $\text{O}_2$  bertambah
  - tidak terjadi perubahan jumlah mol total
17. Pada reaksi kesetimbangan berikut:  
 $3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{O}_3(\text{g}) \quad \Delta H = + 69 \text{ kkal}$   
agar tercapai produk ozon sebanyak-banyaknya, reaksi harus dilakukan pada ....
- tekanan rendah dan suhu tinggi
  - tekanan tinggi dan suhu tinggi
  - tekanan dan suhu rendah
  - tekanan tinggi dan suhu rendah
  - penambahan ozon
18. Di antara reaksi kesetimbangan berikut yang tidak dipengaruhi oleh kenaikan tekanan sistem adalah ....
- $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$
  - $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g})$
  - $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
  - $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$
  - $2\text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$
19. Penguraian fosgen:  $\text{COCl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  adalah proses endoterm. Faktor berikut yang meningkatkan nilai tetapan kesetimbangan adalah ....
- penambahan  $\text{Cl}_2$
  - penambahan He
  - penurunan suhu
  - penurunan tekanan total sistem
  - tidak ada jawabannya
20. Ebtanas 1999:  
Dalam bejana 1 liter terjadi reaksi setimbang:  
 $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$   
Jika mula-mula terdapat 1 mol A dan 1 mol B dan setelah tercapai kesetimbangan terdapat 0,2 mol B maka tetapan kesetimbangannya adalah ....
- $\frac{1}{8}$
  - $\frac{1}{4}$
  - 4
  - 8
  - 16
21. UMPTN 1998/A:  
Jika tetapan kesetimbangan:  $2\text{X} + 2\text{Y} \rightleftharpoons 4\text{Z}$  adalah 0,04 maka tetapan kesetimbangan untuk reaksi  $2\text{Z} \rightleftharpoons \text{X} + \text{Y}$  adalah ....
- 0,2
  - 0,5
  - 4,0
  - 5,0
  - 625
22. UMPTN 1996/B:  
 $\text{HBr}$  0,1 mol dimasukkan ke dalam labu satu liter dan terurai menurut reaksi:  
 $2\text{HBr}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g})$   
Jika  $\text{Br}_2$  yang terbentuk 0,015 mol maka tetapan kesetimbangannya sama dengan ....
- $1,6 \times 10^{-2}$
  - $4,6 \times 10^{-3}$
  - $3,1 \times 10^{-2}$
  - $1,6 \times 10^{-3}$
  - $1,6 \times 10^{-4}$
23. Dalam reaktor dicampurkan 4 mol  $\text{NO}$  dan 0,9 mol  $\text{CO}_2$ . Reaksi yang terjadi :  
 $\text{NO}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$   
Jika pada saat kesetimbangan terdapat 0,1 mol  $\text{CO}_2$  maka harga  $K_c$  adalah ....
- 0,2
  - 0,5
  - 1,6
  - 2,0
  - 5,0

24. Ke dalam reaktor 1 liter dimasukkan 2 mol A dan 2 mol B. Kedua zat bereaksi menurut persamaan:  
 $2A(g) + B(g) \rightleftharpoons A_2B(g)$ .  
 Jika dalam kesetimbangan terdapat 0,5 mol A maka nilai  $K_c$  adalah ....
- A. 4,0                      D. 1,2  
 B. 2,4                      E. 0,5  
 C. 2,0
25. UMPTN 1997/A:  
 Dalam ruang 1 L terdapat kesetimbangan antara gas  $N_2$ ,  $H_2$ , dan  $NH_3$  dengan persamaan reaksi:  
 $2NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3H_2(g)$   
 Pada kesetimbangan tersebut terdapat: 0,01 mol  $N_2$ ; 0,01 mol  $H_2$ ; dan 0,05 mol  $NH_3$ . Harga  $K_c$  adalah ....
- A.  $2 \times 10^{-8}$               D.  $4 \times 10^{-6}$   
 B.  $5 \times 10^{-5}$               E.  $2 \times 10^{-10}$   
 C.  $5 \times 10^{-10}$
26. Pada suhu tertentu, campuran  $NO_2$  dan  $CO$  mula-mula dalam perbandingan 1:2. Pada saat 25%  $CO$  bereaksi, tercapai kesetimbangan:  
 $NO_2(g) + CO(g) \rightleftharpoons NO(g) + CO_2(g)$   
 Nilai  $K_c$  untuk reaksi ini adalah ....
- A.  $\frac{1}{4}$                       D. 1  
 B.  $\frac{1}{2}$                       E. 3  
 C.  $\frac{1}{3}$
27. UMPTN 2000/A:  
 Jika pada kesetimbangan:  $W + X \rightleftharpoons Y + Z$  harga  $K_c = 1$  dan konsentrasi  $W = 2$  kali  $Y$  maka konsentrasi  $X$  sama dengan ....
- A. 4 kali konsentrasi  $Z$   
 B.  $\frac{1}{2}$  kali konsentrasi  $Z$   
 C. 2 kali konsentrasi  $Z$   
 D.  $\frac{1}{4}$  kali konsentrasi  $Z$   
 E. konsentrasi  $Z$
28. Jika ke dalam volume 1 liter dimasukkan gas  $X$  dan gas  $Y$  dengan jumlah mol sama dan kedua gas itu bereaksi membentuk kesetimbangan:  
 $2X(g) + Y(g) \rightleftharpoons 3P(g) + Q(g)$   
 Setelah kesetimbangan tercapai berlaku ....
- A.  $[Y] = [Q]$   
 B.  $[X] < [Y]$   
 C.  $[X] = [Y]$   
 D.  $[X] > [Y]$   
 E.  $[X] + [Y] > [P] + [Q]$
29. Pada suhu tetap, perbandingan konsentrasi gas  $\frac{[SO_2]}{[SO_3]}$  dalam keadaan kesetimbangan:  
 $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$   
 berbanding lurus dengan ....
- A.  $[O_2]^{\frac{1}{2}}$                       D.  $[O_2]^2$   
 B.  $[O_2]^{-\frac{1}{2}}$                       E.  $[O_2]^{-2}$   
 C.  $[O_2]^0$
30. Perhatikan reaksi kesetimbangan berikut.  
 $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$   
 Jika  $N_2O_4$  dibiarkan mencapai kesetimbangan pada suhu tertentu dan pada keadaan setimbang jumlah mol  $N_2O_4$  sama dengan jumlah mol  $NO_2$ , derajat disosiasi  $N_2O_4$  adalah ....
- A.  $\frac{1}{4}$                       D.  $\frac{2}{3}$   
 B.  $\frac{1}{3}$                       E.  $\frac{3}{4}$   
 C.  $\frac{1}{2}$
31.  $CO_2$  dan  $H_2$  masing-masing 1 mol dicampurkan ke dalam reaktor, mencapai kesetimbangan pada suhu  $25^\circ C$  dan tekanan total 0,1 atm menurut reaksi:  
 $CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$   
 Jika dalam kesetimbangan terdapat 0,16%  $CO$ . Nilai  $K_c$  untuk reaksi tersebut adalah ....
- A.  $1,0 \times 10^{-3}$               D. 100  
 B. 1,0                      E.  $1,0 \times 10^{-5}$   
 C.  $3,6 \times 10^{-2}$
32. Tetapan kesetimbangan untuk reaksi:  
 $2A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g) + D(g)$  adalah,  $K_c = 4$ .  
 Jika volume diubah menjadi setengah kali volume semula maka nilai  $K_c$  menjadi ....
- A.  $\frac{1}{4}$                       D. 8  
 B. 2                      E. 10  
 C. 4
33. Tetapan kesetimbangan untuk reaksi  $X + 2Y \rightleftharpoons XY_2$  adalah  $K_c = 0,25$ . Jumlah mol  $X$  yang harus ditambahkan pada 4 mol  $Y$  dalam volume 5 liter, agar dapat menghasilkan 1 mol  $XY_2$  dalam kesetimbangan adalah ....
- A. 26 M                      D. 5,2 M  
 B. 12,1 M                      E. 1,0 M  
 C. 11,0 M
34. UMPTN 1997/C:  
 Harga  $K$  untuk reaksi kesetimbangan:  
 $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$  adalah 25. Pada keadaan yang sama, harga  $K$  untuk kesetimbangan:  
 $SO_3(g) \rightleftharpoons \frac{1}{2}O_2(g) + SO_2(g)$  adalah ....
- A.  $\frac{1}{3}$                       D.  $\frac{1}{9}$   
 B.  $\frac{1}{5}$                       E.  $\frac{1}{5}$   
 C.  $\frac{1}{7}$



35. Pada suhu tertentu, tetapan kesetimbangan untuk reaksi:  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  adalah  $2,4 \times 10^{-3}$ . Tetapan kesetimbangan untuk reaksi kebalikannya adalah ....
- A.  $2,4 \times 10^{-3}$       D.  $4,2 \times 10^2$   
 B.  $-2,4 \times 10^{-3}$       E.  $2,3 \times 10^{-5}$   
 C.  $4,8 \times 10^{-2}$
36. Proses Haber merupakan proses penting dalam industri amonia. Jika terbentuk dua buah reaksi kesetimbangan dengan tetapan K dan K .
- $$\frac{1}{2} \text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2} \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) \quad K$$
- $$2 \text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \quad K$$
- Hubungan K dan K ditunjukkan oleh persamaan ....
- A.  $K = K$   
 B.  $K = K^2$   
 C.  $K = \frac{1}{K}$   
 D.  $K = \frac{1}{K^2}$   
 E.  $K^2 = \frac{1}{K}$
37. Gas  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}_2$  dicampurkan dengan rasio mol 1:3. Jika campuran membentuk kesetimbangan dan  $\text{NH}_3$  yang terbentuk 50% dengan tekanan total P maka tekanan parsial  $\text{NH}_3$  adalah ....
- A.  $\frac{P}{8}$       D.  $\frac{P}{3}$   
 B.  $\frac{P}{6}$       E.  $\frac{P}{2}$   
 C.  $\frac{P}{4}$
38. Pemanasan  $\text{PCl}_5$  menyebabkan disosiasi:  
 $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$   
 Pada  $250^\circ\text{C}$  dan 10 atm tercapai kesetimbangan dan terdapat 0,33 mol  $\text{PCl}_5$ , 0,67 mol  $\text{PCl}_3$  dan 0,67 mol  $\text{Cl}_2$ . Harga  $K_p$  sama dengan ....
- A. 16,24      D. 1,23  
 B. 12,3      E. 58,34  
 C. 8,12
39. Gas X dipanaskan pada tekanan yang tetap hingga terdisosiasi membentuk reaksi:  
 $\text{X}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Y}(\text{g}) + \text{Z}(\text{g})$   
 Tekanan parsial X pada kesetimbangan adalah  $\frac{1}{7} P$ . Nilai  $K_p$  pada suhu itu adalah ....
- A.  $\frac{6}{7} P$       D.  $6 P$   
 B.  $\frac{7}{9} P$       E.  $9 P$   
 C.  $\frac{36}{7} P$
40. Dalam wadah satu liter dimasukkan 4 mol zat A dan 5 mol zat B membentuk reaksi setimbang:  
 $\text{A}(\text{g}) + 2\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}(\text{g})$   
 Jika pada keadaan setimbang terdapat 2 mol zat C dan tekanan total 10 atm maka ....
- A.  $K_p = K_c$   
 B.  $K_p = 4K_c$   
 C.  $K_p = \frac{1}{4} K_c$   
 D.  $K_p = 2K_c$   
 E.  $K_p = \frac{1}{2} K_c$
41. Pada 298K, terbentuk kesetimbangan antara:  
 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ .  
 Jika tekanan total dalam kesetimbangan adalah P dan derajat disosiasi  $\text{N}_2\text{O}_4$  adalah  $\alpha$  maka tekanan parsial  $\text{NO}_2$  dalam campuran ....
- A.  $\frac{2\alpha}{P}$   
 B.  $\frac{2}{3} \alpha P$   
 C.  $\frac{2}{3} P$   
 D.  $\frac{2\alpha}{(1+\alpha)} P$   
 E.  $\frac{2\alpha}{(1-\alpha)} P$
42. Reaksi berikut yang memiliki harga  $K_p$  dan  $K_c$  sama adalah ....
- A.  $2\text{NOCl}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$   
 B.  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$   
 C.  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HCl}(\text{g})$   
 D.  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$   
 E.  $\text{COCl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
43. Satu mol zat A dan satu mol zat B direaksikan sampai dengan kesetimbangan dicapai, menurut reaksi:  
 $\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}(\text{g}) + \text{D}(\text{g})$   
 Jika diketahui pada keadaan setimbang zat A = 0,33 mol maka tetapan kesetimbangannya adalah ....
- A. 0,24  
 B. 0,33  
 C. 0,76  
 D. 2,00  
 E. 4,00
44. Di industri pembuatan gas  $\text{NH}_3$  terjadi reaksi:  
 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -92 \text{ kJ}$   
 Agar hasil yang diperoleh optimum maka ....
- A. tekanan tetap rendah, suhu tinggi  
 B. tekanan harus rendah, suhu tetap rendah  
 C. tekanan dinaikkan terus, suhu diturunkan  
 D. tekanan rendah, suhu tinggi  
 E. tekanan tetap tinggi, suhu tetap tinggi

45. Pada pembuatan asam nitrat, salah satu tahap reaksinya adalah sebagai berikut.



Platina digunakan sebagai katalis. Jika jumlah katalis dinaikkan ketika sistem mencapai kesetimbangan, akan terjadi ....

- B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.

- Jelaskan pertanyaan berikut.
  - Apakah yang dimaksud dengan reaksi satu arah, reaksi dapat balik (dua arah), dan reaksi kesetimbangan?
  - Mengapa reaksi kesetimbangan dikatakan dinamis?
  - Mengapa dalam kesetimbangan sistem heterogen, zat murni tidak terlibat dalam tetapan kesetimbangan?
- Buatlah sketsa grafik yang menggambarkan:
  - perubahan konsentrasi  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , dan  $\text{NO}$  terhadap waktu;
  - penambahan  $\text{O}_2$  ke dalam sistem reaksi (a) dan mencapai kesetimbang yang baru.
- Tuliskan persamaan tetapan kesetimbangan untuk reaksi berikut:
  - $\text{H}_2(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HF}(\text{g})$
  - $\text{Ag}_2\text{CO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$
  - $\text{Al}(\text{s}) + 3\text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g})$
  - $\text{CS}_2(\ell) \rightleftharpoons \text{CS}_2(\text{g})$
- Tentukan arah pergeseran kesetimbangan dari:  $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + x \text{ kkal}$ , apabila pada reaksi kesetimbangan tersebut dilakukan tindakan (aksi) sebagai berikut:
  - penambahan  $\text{CO}$  pada volume tetap;
  - peningkatan suhu;
  - pengcilan volume sistem;
  - pengikatan  $\text{CO}_2$ ;
  - penambahan  $\text{O}_2$  disertai peningkatan suhu;
  - penambahan  $\text{CO}$  disertai penurunan tekanan.
- Tunjukkan bahwa data dalam tabel mendukung hukum aksi massa untuk reaksi kesetimbangan:  $\text{PCl}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_5(\text{g})$

	$\text{PCl}_5$	$\text{PCl}_3$	$\text{Cl}_2$
1	0,0023	0,23	0,055
2	0,0100	0,15	0,370
3	0,0850	0,99	0,470
4	1,0000	3,66	1,500

Berapa nilai  $K_c$  dari reaksi tersebut?

- $\text{NO}$  berlebih dan  $\text{H}_2\text{O}$  akan terbentuk
- $\text{NH}_3$  berlebih dan  $\text{O}_2$  akan terbentuk
- jumlah setiap pereaksi dan produk akan meningkat
- tidak ada perubahan
- laju reaksi akan meningkat

- Tetapan kesetimbangan pada 1000K untuk reaksi  $\text{CaCO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$   $K_1 = 0,039$   
 $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$   $K_2 = 1,9$   
 Tentukan tetapan kesetimbangan untuk reaksi berikut:  
 $\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + 2\text{CO}(\text{g})$
- Sejumlah tertentu  $\text{NOBr}$  dimasukkan ke dalam labu tertutup dan suhunya dinaikkan sampai dengan 350K. Pada suhu ini, tercapai kesetimbangan:  
 $\text{NOBr}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{Br}_2(\text{g})$   
 Tekanan total terukur sebesar 0,75 atm dan kerapatan gas  $2 \text{ g L}^{-1}$ .
  - Hitung tekanan parsial gas.
  - Hitung tetapan kesetimbangan.
- Logam seng diproduksi melalui reaksi oksidanya dengan karbon monoksida pada suhu tinggi. Persamaan kimianya:  
 $\text{ZnO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$   $K_p = 600$   
 Pada keadaan setimbang, tekanan total dalam tabung reaksi adalah 1,8 atm. Hitung tekanan parsial  $\text{CO}_2(\text{g})$  dan  $\text{CO}(\text{g})$ .
- Pada suhu 250°C, tekanan total campuran gas  $\text{N}_2\text{O}_4$  dan  $\text{NO}_2$  dalam keadaan setimbang adalah 85,5 kPa. Tekanan parsial  $\text{N}_2\text{O}_4$  adalah 57,0 kPa. Untuk reaksi kesetimbangan berikut:  
 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$   
 Hitung harga  $K_p$  dan  $K_c$ ?
- Industri hidrogen memanfaatkan reaksi berikut:  
 $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$   
 Harga  $K_c$  untuk reaksi tersebut adalah 4,05 pada 500°C. Berapa harga  $K_p$  pada suhu yang sama?

# Proyek Semester 1



## Enzim Katalase sebagai Biokatalisator

Enzim katalase akan mempercepat reaksi penguraian hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) menjadi air dan oksigen ( $\text{O}_2$ ). Penguraian  $\text{H}_2\text{O}_2$  ditandai dengan timbulnya gelembung. Aktivitas enzim katalase akan berkurang jika enzim dipanaskan. Enzim katalase dapat diperoleh dari ekstrak hati ayam atau hati sapi.

### Tujuan

Mengetahui pengaruh penambahan enzim katalase dari ekstrak hati ayam dan hati sapi pada penguraian  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

### Alat

1. Tabung reaksi
2. Penangas air
3. Termometer
4. topwatch

### Bahan

1. Dua potong hati ayam
2. Dua potong hati sapi
3. Hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

### Langkah Kerja

1. Haluskan sepotong hati ayam yang masih segar.
2. Rebus sepotong hati ayam dalam air mendidih selama 5 menit, kemudian haluskan.
3. Masukkan 10 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  ke dalam setiap tabung reaksi yang telah diberi nomor 1 dan 2.
4. Ukur suhu larutan dengan menggunakan termometer.
5. Masukkan ekstrak hati ayam yang masih segar ke dalam tabung reaksi nomor 1.
6. Masukkan ekstrak hati ayam yang telah direbus ke dalam tabung reaksi nomor 2.
7. Amati perubahan yang terjadi. Ukur suhu larutan setiap 30 detik selama 5 menit
8. Ulangi langkah kerja dengan mengganti hati ayam dengan hati sapi.

Buatlah laporan dari proyek semester ini. Laporkan secara rinci dan sistematis, kemudian presentasikan di kelas.

# Evaluasi Kompetensi Kimia

## Semester 1



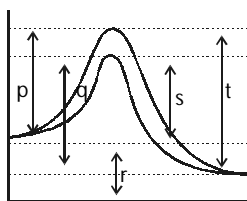
- A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.
- Pada konfigurasi elektron  ${}_{24}\text{Cr}$ , terdapat elektron tidak berpasangan sebanyak ....
    - 6
    - 5
    - 4
    - 3
    - 2
  - Ion berikut yang mempunyai konfigurasi elektron  $[\text{Ar}] 3d^7 4s^2$  adalah ....
    - ${}_{24}\text{Cr}^{2+}$
    - ${}_{25}\text{Mn}^{2+}$
    - ${}_{27}\text{Co}^{2+}$
    - ${}_{28}\text{Ni}^{2+}$
    - ${}_{29}\text{Cu}^{2+}$
  - Jika bilangan kuantum utama atom adalah tiga maka atom tersebut akan memiliki ....
    - hanya elektron s dan p
    - hanya elektron s
    - hanya elektron s, p, dan d
    - elektron s, p, d, dan f
    - hanya elektron p
  - Konfigurasi elektron dari ion  ${}_{26}\text{Fe}^{3+}$  adalah ....
    - $[\text{Ar}] 3d^3 4s^2$
    - $[\text{Ar}] 3d^5$
    - $[\text{Ar}] 3d^6$
    - $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$
    - $[\text{Ar}] 3d^4 4s^1$
  - Suatu unsur X memiliki konfigurasi elektron  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ . Rumus senyawa yang mungkin akan terbentuk antara unsur X dengan kalsium ( ${}_{20}\text{Ca}$ ) adalah ....
    - $\text{CaX}$
    - $\text{Ca}_2\text{X}$
    - $\text{CaX}_2$
    - $\text{Ca}_2\text{X}_3$
    - $\text{Ca}_3\text{X}_2$
  - Ion-ion berikut berada dalam satu periode dalam tabel periodik. Di antara ion tersebut yang memiliki jari-jari terbesar adalah ....
    - ${}_{3}\text{Li}^+$
    - ${}_{4}\text{Be}^{2+}$
    - ${}_{7}\text{N}^{3-}$
    - ${}_{8}\text{O}^{2-}$
    - ${}_{9}\text{F}^-$
  - Menurut teori tolakan elektron (SEPR), bentuk molekul  $\text{CO}_2$ ,  $\text{PCl}_5$ , dan  $\text{SF}_6$  adalah ....
    - segitiga datar, tetrahedral, oktahedral
    - linear, segitiga bipiramid, oktahedral
    - linear, tetrahedral, segitiga bipiramid
    - segitiga datar, segitiga bipiramid, oktahedral
    - tetrahedral, oktahedral, segitiga bipiramid
  - Struktur molekul amonia berbentuk ....
    - planar
    - linear
    - piramid
    - segiempat
    - tetrahedral
  - Di antara senyawa berikut yang memiliki bentuk linear adalah ....
    - $\text{BeCl}_2$
    - $\text{NO}_2$
    - $\text{SCl}_2$
    - $\text{SO}_2$
    - $\text{OF}_2$
  - Bentuk geometri metil  $\text{CH}_3^+$  adalah ....
    - linear
    - segitiga datar
    - tetrahedral
    - segiempat
    - piramid
  - Unsur M memiliki struktur elektron terluar  $s^2 p^1$ . Jika unsur itu membentuk molekul  $\text{MX}_3$  maka hibridisasi yang terjadi pada unsur M adalah ....
    - $s^2 p$
    - sp
    - $sp^2$
    - $sp^3$
    - $dsp^3$
  - Di antara senyawa berikut yang memiliki momen dipol adalah ....
    - $\text{CS}_2$
    - $\text{H}_2\text{S}$
    - $\text{SO}_3$
    - $\text{SnCl}_2$
    - $\text{CCl}_4$
  - Di antara molekul berikut yang memiliki momen dipol paling besar adalah ....
    - HCl
    - $\text{H}_2$
    - HI
    - HBr
    - HF
  - Di antara molekul berikut yang nonpolar adalah ....
    - HCl
    - $\text{CHCl}_3$
    - $\text{CO}_2$
    - $\text{NH}_3$
    - $\text{SO}_2$
  - Contoh senyawa kovalen polar adalah ....
    - KCl
    - NaCl
    - $\text{CCl}_4$
    - HCl
    - $\text{CH}_4$
  - Gaya antaraksi antarmolekul lemah disebabkan oleh dipol terinduksi dinamakan ....
    - gaya ionik
    - gaya ligan
    - ikatan hidrogen
    - gaya kordinasi
    - gaya van der Waals

17. Di antara spesi berikut yang memiliki ikatan hidrogen intramolekul adalah ....
- A.  $C_6H_6$                       D.  $OH^-$   
 B.  $H_2O$                         E.  $NH_4^+$   
 C.  $HF_2^-$
18. Senyawa  $H_2O$  memiliki titik didih pada  $100^\circ C$ , sedangkan  $H_2Se$  memiliki titik didih  $-42^\circ C$  pada tekanan 1 atm. Gejala ini dapat dijelaskan oleh ....
- A. gaya van der Waals  
 B. ikatan kovalen  
 C. ikatan ionik  
 D. berat molekul  
 E. ikatan hidrogen
19. Ikatan hidrogen paling kuat terdapat dalam senyawa ....
- A.  $NH_3$                         D.  $HCl$   
 B.  $H_2O$                         E.  $HF$   
 C.  $H_2S$
20. Di antara proses berikut yang merupakan proses endoterm adalah ....
- A. pembentukan ion  $Cl^-$  dari  $Cl_2$   
 B. pembentukan air dari es  
 C. pembentukan ion  $Na^+$  dari  $Na(s)$   
 D. reaksi  $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$   
 E. reaksi  $CH_4(g) + \bullet Cl(g) \rightarrow \bullet CH_3(g) + HCl$
21. Perubahan entalpi pembentukan air terdapat pada reaksi ....
- A.  $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$   
 B.  $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$   
 C.  $H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$   
 D.  $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$   
 E.  $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(g)$
22. Diketahui:  
 $H_2O(l) \rightarrow H_2O(s) \Delta H = -1,4 \text{ kkal}$   
 $H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \Delta H = +68,3 \text{ kkal}$   
 $H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow H_2O(g) \Delta H = -57,8 \text{ kkal}$   
 Jika es yang berubah menjadi uap air dalam satuan kkal/mol, perubahan entalpinya adalah ....
- A. 11,9                        D. 9,1  
 B. -11,9                        E. 124,7  
 C. -9,1
23. Diketahui:  $NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l) \Delta H = -56 \text{ kJ mol}^{-1}$ .  
 Jika 100 mL larutan  $HCl$  0,25 M direaksikan dengan 200 mL larutan  $NaOH$  0,15 M, perubahan entalpi yang terjadi pada reaksi itu adalah ....
- A. -0,56 kJ                      D. -2,80 kJ  
 B. -1,40 kJ                      E. -1,68 kJ  
 C. -3,08 kJ
24. Diketahui:  
 H pembentukan  $CO_2(g) = -b \text{ kJ mol}^{-1}$   
 $\Delta H$  pembentukan  $H_2O(l) = -c \text{ kJ mol}^{-1}$ .  
 Jika  $\Delta H$  pembakaran asetilen menurut reaksi:  
 $2C_2H_2(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 2H_2O(l) \Delta H = -a \text{ kJ}$

Menurut hukum Hess,  $\Delta H$  pembentukan asetilen adalah ....

- A.  $-a + 2b + c$                       D.  $+a + 2b + c$   
 B.  $-a - 2b + c$                       E.  $+2a - 2b - c$   
 C.  $+a - 2b - c$
25.  $\Delta H$  reaksi  $H_2C=CH_2(g) + H_2(g) \rightarrow H_3C-CH_3(g)$  adalah ....
- A.  $D_{C=C} + D_{H-H} - 2D_{C-H} - D_{C-C}$   
 B.  $D_{C=C} + D_{H-H} - 2D_{C-H} - D_{C-C}$   
 C.  $D_{C=C} + D_{H-H} + 4D_{C-H} - (D_{C-C} + 6D_{C-H})$   
 D.  $D_{C=C} + D_{H-H} - 2D_{C-H} - D_{C-C}$   
 E.  $D_{C=C} + D_{H-H} + 2D_{C-H} + D_{C-C}$
26. Untuk reaksi antara klor dan nitrogen monoksida:  
 $Cl_2(g) + 2NO(g) \rightarrow 2NOCl(g)$   
 diketahui bahwa peningkatan konsentrasi kedua pereaksi dua kali lipat, laju reaksi meningkat delapan kali lebih cepat. Jika hanya konsentrasi  $Cl_2$  yang dinaikkan dua kali, laju reaksi meningkat dua kali. Orde reaksi terhadap  $NO$  adalah ....
- A. 0                                      D. 3  
 B. 1                                      E. 4  
 C. 2
27. Laju reaksi  $A \rightarrow \text{Produk}$ , adalah laju =  $k[A]^n$ . Jika satuan konsentrasi A adalah  $\text{mol L}^{-1}$ , dan satuan k adalah  $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$ , orde reaksi adalah ....
- A. 0                                      D. 3  
 B. 1                                      E. 4  
 C. 2
28. Data percobaan untuk reaksi:  $A + B \rightarrow AB$  adalah sebagai berikut:
- | A (mol L <sup>-1</sup> ) | B (mol L <sup>-1</sup> ) | Laju Reaksi (MS <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 0,1                      | 0,05                     | 20                              |
| 0,3                      | 0,05                     | 180                             |
| 0,1                      | 0,20                     | 320                             |
- Orde reaksi terhadap A dan B berturut-turut adalah ....
- A. 2 dan 4                              D. 1 dan 2  
 B. 2 dan 2                              E. 1 dan 1  
 C. 2 dan 1
29. Pada reaksi:  $A + B \rightarrow C$  diperoleh data:
- | No. | Konsentrasi Awal (M) |                    | Laju Reaksi (M s <sup>-1</sup> ) |
|-----|----------------------|--------------------|----------------------------------|
|     | A                    | B                  |                                  |
| 1   | $2 \times 10^{-3}$   | $4 \times 10^{-3}$ | $6 \times 10^{-7}$               |
| 2   | $2 \times 10^{-3}$   | $8 \times 10^{-3}$ | $12 \times 10^{-7}$              |
| 3   | $4 \times 10^{-3}$   | $4 \times 10^{-3}$ | $24 \times 10^{-7}$              |
- Orde reaksi total adalah ....
- A. 1                                      D. 4  
 B. 2                                      E. 5  
 C. 3

30. Jika suhu campuran reaksi dinaikkan dari 25°C sampai 75°C maka ....
- laju reaksi menurun, tetapi nilai tetapan laju tidak berubah
  - baik laju maupun tetapan laju menurun
  - laju reaksi meningkat, tetapi nilai tetapan laju tetap
  - laju reaksi dan tetapan laju meningkat
  - laju reaksi tetap, tetapi nilai tetapan laju menurun
31. Bahan yang digunakan sebagai katalis heterogen biasanya logam transisi yang ....
- turut dalam pembentukan mekanisme reaksi
  - berubah secara kimia pada akhir reaksi
  - memengaruhi hasil reaksi
  - berubah sifat fisisnya di akhir reaksi
  - berubah menjadi logam stabil
32. Dalam suatu percobaan, mangan(II) oksida dipakai sebagai katalis pada penguraian  $H_2O_2$ , dan gas oksigen yang dihasilkan ditampung dalam suatu wadah. Dari hasil percobaan itu diperoleh informasi bahwa katalis dapat ....
- menambah jumlah gas oksigen
  - mempercepat laju penguraian serta menambah jumlah gas oksigen
  - mempercepat laju penguraian tanpa menambah jumlah gas oksigen
  - mempercepat laju reaksi dan memperpanjang waktu reaksi
  - mangan(II) oksida berkurang sejalan dengan berkurangnya pereaksi
33. Grafik berikut menyatakan perubahan energi reaksi terhadap jalannya reaksi, yang dikatalisis dan tanpa dikatalisis.



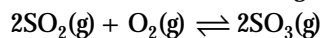
Energi reaksi manakah yang prosesnya dikatalisis?

- p
  - q
  - r
  - s
  - t
34. Menurut persamaan kimia berikut:  
 $CaCO_3(s) + HCl(aq) \rightarrow CaO(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$   
 pembentukan  $CO_2(g)$  lebih cepat jika  $CaCO_3$  berupa ....
- kerikil
  - tepung
  - granula
  - bongkahan
  - lempengan
35. Dalam reaksi kesetimbangan berikut:  
 $A_2(g) + 2B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_2(g) + \text{k calor}$   
 Kesetimbangan dapat digeser ke kiri dengan cara ....

- menurunkan tekanan dan suhu
- menaikkan tekanan dan suhu
- menurunkan tekanan dan menaikkan suhu
- meningkatkan tekanan dan menurunkan suhu
- menambah gas  $A_2$  berlebih

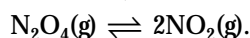
36. Pada suhu tetap, perbandingan konsentrasi gas  $\frac{[SO_2]}{[SO_3]}$

dalam keadaan kesetimbangan menurut reaksi:



akan berbanding lurus dengan ....

- $[O_2]^{\frac{1}{2}}$
  - $[O_2]^{-\frac{1}{2}}$
  - $[O_2]^0$
  - $[O_2]^2$
  - $[O_2]^{-2}$
37. Campuran satu mol karbon dioksida dan satu mol hidrogen mencapai kesetimbangan pada suhu 25°C dan tekanan total 0,1 atm menurut reaksi:  
 $CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$   
 Analisis akhir menunjukkan terdapat 0,16% karbon monoksida. Tetapan kesetimbangan reaksi itu adalah ....
- $1,0 \times 10^{-3}$
  - 1,0
  - $3,6 \times 10^{-2}$
  - 100
  - $1,0 \times 10^{-5}$
38. Pada 298K, terbentuk kesetimbangan antara:

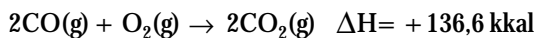


Jika tekanan total dalam kesetimbangan itu adalah P dan derajat disosiasi  $N_2O_4$  adalah  $\alpha$ , tekanan parsial  $NO_2$  dalam campuran adalah ....

- $\frac{2\alpha}{P}$
  - $\frac{2}{3}\alpha P$
  - $\frac{2}{3}P$
  - $\frac{2\alpha}{(1+\alpha)}P$
  - $\left(\frac{2\alpha}{(1-\alpha)}\right)P$
39. Pada pembentukan amonia menurut proses Haber-Bosch:  
 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \quad \Delta H = -92 \text{ kJ}$   
 Pernyataan yang salah adalah ....
- jika suhu dinaikkan, amonia berkurang
  - jika tekanan diperbesar, amonia bertambah
  - reaksi ini sangat penting sebagai bahan utama pabrik urea
  - industri amonia memakai udara sebagai salah satu bahan dasarnya
  - penambahan katalis dapat menggeser kesetimbangan ke kanan



40. Pada persamaan reaksi



Menyatakan bahwa pada pembakaran 1 mol CO terjadi perubahan entalpi sebesar ....

- A. + 136,6 kkal
- B. - 68,3 kkal
- C. + 68,3 kkal
- D. - 136 kkal
- E. - 34,2 kkal

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.

1. Jika ditemukan unsur dengan nomor atom 121, pada golongan dan periode berapa unsur tersebut ditempatkan dalam tabel periodik?

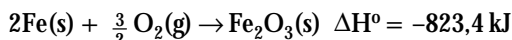
2. Gambarkan perubahan geometri yang terjadi pada reaksi berikut:

- a.  $\text{BF}_3(\text{g}) + \text{F}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{BF}_4^-(\text{aq})$
- b.  $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$
- c.  $\text{PCl}_5(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{PCl}_6^-(\text{aq})$
- d.  $\text{SF}_2(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SF}_4(\text{g})$

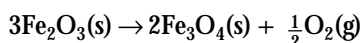
3. Fosfor triklorida,  $\text{PCl}_3$  adalah cairan tidak berwarna dan uapnya sangat iritasi. Jelaskan ikatan dalam molekul  $\text{PCl}_3$  menurut teori ikatan valensi (gunakan model hibridisasi).

4. Suatu kalorimeter berisi 75 g air pada  $17^\circ\text{C}$ . Cuplikan besi sebanyak 75,5 gram pada  $63,5^\circ\text{C}$  ditempatkan dalam kalorimeter tersebut menghasilkan suhu akhir sistem  $19,7^\circ\text{C}$ . Hitung kapasitas kalor kalorimeter. Kalor jenis air  $4,184 \text{ J g}^{-1}\text{K}^{-1}$  dan kalor jenis besi  $0,45 \text{ J g}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

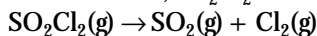
5. Nilai  $\Delta H^\circ$  untuk reaksi berikut:



Gunakan data ini untuk menghitung  $\Delta H^\circ$  untuk reaksi berikut:



6. Sulfuril klorida,  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  terurai ketika dipanaskan.



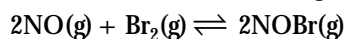
Dalam suatu percobaan, konsentrasi awal sulfuril klorida adalah  $0,0248 \text{ mol L}^{-1}$ . Jika tetapan lajunya  $2,2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , berapakah konsentrasi  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  setelah 4,5 jam? Reaksi adalah orde pertama.

7. Reaksi:  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NOCl}(\text{g})$  dipelajari pada  $-10^\circ\text{C}$ . Hasilnya ditabulasikan pada tabel berikut.

NO (mol L <sup>-1</sup> )	Cl <sub>2</sub> (mol L <sup>-1</sup> )	Laju Awal (mol L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )
0,10	0,10	0,18
0,10	0,20	0,35
0,20	0,20	1,45

- a. Bagaimana hukum kecepataannya?
- b. Berapa nilai tetapan kecepataannya?

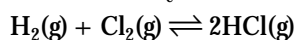
8. Perhatikan reaksi kesetimbangan berikut:



Gunakan prinsip Le Chatelier untuk meramalkan pengaruh terhadap posisi kesetimbangan jika:

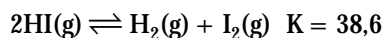
- a. tekanan NO dinaikan,
- b. konsentrasi  $\text{Br}_2$  ditambah, dan
- c. ditambah gas inert.

9. Pada  $1200\text{K}$ ,  $K_c = 2,5 \times 10^4$  untuk reaksi:



Jika  $0,50 \text{ mol H}_2$  dan  $0,50 \text{ mol Cl}_2$  dimasukkan ke dalam tabung, berapa jumlah mol HCl yang terdapat dalam kesetimbangan?

10. Andaikan  $93,0 \text{ g HI}(\text{g})$  ditempatkan ke dalam labu, kemudian dipanaskan sampai  $600\text{K}$ . Pada suhu ini, kesetimbangan dicapai antara HI,  $\text{H}_2$ , dan  $\text{I}_2$ :



Tekanan total dalam labu diukur sebesar  $6,45 \text{ atm}$

- a. Hitung konsentrasi HI,  $\text{H}_2$ , dan  $\text{I}_2$  dalam kesetimbangan.
- b. Hitung volume labu?

# Bab 6



Sumber: *Encyclopedia Science*, 1994

Derajat keasaman dapat diukur dengan menggunakan pH meter.

## Asam Basa

### Hasil yang harus Anda capai:

memahami sifat-sifat larutan asam basa, metode pengukuran, dan terapannya.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

mendeskripsikan teori-teori asam basa dengan menentukan sifat larutan dan menghitung pH larutan.

Anda tentu sering mendengar larutan asam sulfat dan asam nitrat bukan? Kedua larutan tersebut dapat digunakan untuk menghilangkan lapisan oksida pada permukaan logam sebelum dilakukan pengecatan. Demikian pula, dengan susu magnesia (natrium bikarbonat) dan larutan amonia yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan fiber kertas. Menurut Anda, sifat apakah yang terkandung dalam senyawa tersebut?

Selama Anda mempelajari kimia Anda tentu juga telah mengetahui tentang larutan yang bersifat asam dan larutan yang bersifat basa. Asam dan basa merupakan salah satu sifat zat (larutan maupun nonpelarut). Sifat asam dan basa memiliki peran penting dalam proses kimia di alam, makhluk hidup, maupun industri. Apakah sebenarnya sifat asam basa itu? Bagaimanakah menentukan sifat suatu zat berdasarkan asam basa? Bagaimanakah cara menghitung derajat keasaman (pH) suatu larutan? Semua pertanyaan di atas akan Anda temukan jawabannya setelah Anda mempelajari bab ini.

- A. Asam Basa Arrhenius**
- B. Derajat Kekuatan Asam Basa**
- C. Penentuan pH Asam Basa**
- D. Asam Basa Bronsted-Lowry dan Lewis**

## Tes Kompetensi Awal

1. Masih ingatkah Anda apa yang dimaksud dengan larutan elektrolit dan larutan nonelektrolit?
2. Apakah yang Anda ketahui hubungan antara senyawa asam atau basa berdasarkan sifat daya hantar listrik larutan?
3. Sebutkan contoh senyawa asam dan basa yang Anda ketahui dalam kehidupan sehari-hari?

## A. Asam Basa Arrhenius

Di Kelas X, Anda telah mempelajari larutan dan sifat-sifat listrik larutan, seperti larutan elektrolit dan larutan nonelektrolit. Pada pelajaran kali ini, Anda akan dihantarkan untuk memahami lebih jauh tentang larutan dan sifat-sifat asam atau basa suatu larutan serta teori yang melandasinya.



### Sekilas Kimia

**Svante August Arrhenius**  
(1859–1927)



Sumber: [www.nobelprize.com](http://www.nobelprize.com)

Svante August Arrhenius lahir pada 19 Februari 1859 di Swedia. Arrhenius merupakan salah satu ilmuwan yang hobi menulis. Di bidang kimia, Arrhenius mendasari perhitungan kekuatan asam basa.

### 1. Teori Asam Basa Arrhenius

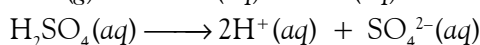
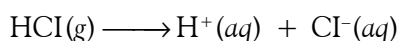
Istilah asam dan basa sudah dikenal oleh masyarakat ilmiah sejak dulu. Istilah asam diberikan kepada zat yang rasanya asam, sedangkan basa untuk zat yang rasanya pahit.

Pada 1777, **Lavoisier** menyatakan bahwa oksigen adalah unsur utama dalam senyawa asam. Pada 1808, **Humphry Davy** menemukan fenomena lain, yaitu HCl dalam air dapat bersifat asam, tetapi tidak mengandung oksigen. Fakta ini memicu **Arrhenius** untuk mengajukan teori asam basa.

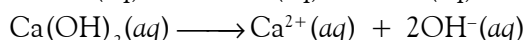
Menurut **Arrhenius**, asam adalah zat yang dapat melepaskan ion  $H^+$  di dalam air sehingga konsentrasi ion  $H^+$  dalam air meningkat. Basa adalah zat yang dapat melepaskan ion  $OH^-$  di dalam air sehingga konsentrasi ion  $OH^-$  dalam air meningkat.

Contoh senyawa yang tergolong asam dan basa menurut teori Arrhenius adalah sebagai berikut:

- a. Asam: HCl,  $HNO_3$ , dan  $H_2SO_4$ . Senyawa ini jika dilarutkan dalam air akan terurai membentuk ion  $H^+$  dan ion negatif sisa asam.



- b. Basa: NaOH, KOH,  $Ca(OH)_2$ , dan  $Al(OH)_3$ . Senyawa ini jika dilarutkan dalam air akan terurai membentuk ion  $OH^-$  dan ion positif sisa basa.



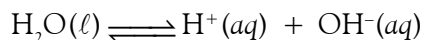
Menurut teori Arrhenius, rumus kimia asam harus mengandung atom hidrogen ( $-H$ ) dan rumus kimia basa harus mengandung gugus hidroksil ( $-OH$ ).

### 2. Larutan Asam, Basa, dan Netral

Di Kelas X, Anda sudah mengetahui bahwa air murni tidak dapat menghantarkan listrik karena air tidak terurai menjadi ion-ionnya (senyawa kovalen). Sesungguhnya air murni itu dapat terionisasi, tetapi konsentrasinya sangat kecil, yaitu sekitar  $1 \times 10^{-7}$  M. Berdasarkan penyelidikan, dapat diketahui bahwa ionisasi air bersifat endoterm dan berkesetimbangan. Persamaan reaksinya sebagai berikut.

### Kata Kunci

- Asam
- Basa
- Teori asam basa Arrhenius



Tetapan kesetimbangan ionisasi air dapat ditulis sebagai berikut.

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

Karena air adalah zat murni, konsentrasi air tidak berubah dan dapat dipersatukan dengan tetapan kesetimbangan sehingga persamaan tetapannya menjadi:

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

Tetapan kesetimbangan ini disebut tetapan ionisasi air, dilambangkan dengan  $K_w$ .

Pada 25°C, nilai  $K_w = 1,0 \times 10^{-14}$  dan pada 37°C nilai  $K_w = 2,5 \times 10^{-14}$ . Dengan kata lain, ionisasi air bersifat endoterm. Berdasarkan nilai  $K_w$ , konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{OH}^-$  dalam air dapat dihitung. Misalnya:  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = x$  maka

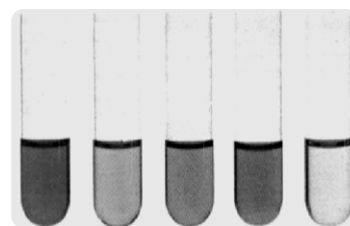
$$K_w = [x][x] = 1,0 \times 10^{-14}, \text{ atau } x = 1,0 \times 10^{-7}$$

Jadi, konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  hasil ionisasi air pada 25°C masing-masing sebesar  $1,0 \times 10^{-7}$ .

Jika dalam larutan terdapat konsentrasi molar ion  $\text{H}^+$  sama dengan konsentrasi molar ion  $\text{OH}^-$ , yakni  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ , larutan tersebut dinyatakan bersifat netral (serupa dengan air murni).

Menurut Arrhenius, suatu larutan bersifat asam jika konsentrasi  $\text{H}^+$  dalam larutan meningkat. Artinya, jika dalam larutan terdapat  $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ , larutan bersifat asam. Sebaliknya, jika dalam larutan  $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ , larutan bersifat basa.

Untuk menentukan sifat asam atau basa suatu larutan secara kualitatif, Anda dapat melakukan kegiatan berikut.



Sumber: Sougou Kagashi

Gambar 6.1

Tabung reaksi berisi larutan uji



### Catatan Note

Menurut Arrhenius, asam adalah zat yang dapat melepaskan ion  $\text{H}^+$  di dalam air sehingga konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dalam air meningkat. Basa adalah zat yang dapat melepaskan ion  $\text{OH}^-$  di dalam air sehingga konsentrasi ion  $\text{OH}^-$  dalam air meningkat.

*Arrhenius states that acids are substance that, when dissolved in water, increasing the concentration of  $\text{H}^+$  ion. Likewise, bases are substances that, when dissolved in water, increasing the concentration of  $\text{OH}^-$  ion.*



## Aktivitas Kimia 6.1

### Sifat Asam dan Basa Larutan

#### Tujuan

Menentukan sifat asam atau basa suatu larutan.

#### Alat

1. Tabung reaksi atau pelat tetes
2. Kertas lakmus

#### Bahan

- |                                  |                                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------|
| 1. Larutan NaCl 0,5 M            | 4. Larutan $\text{CH}_3\text{COOH}$ 0,5 M |
| 2. Larutan $\text{CaCl}_2$ 0,5 M | 5. Larutan NaOH 0,5 M                     |
| 3. Larutan HCl 0,5 M             | 6. Larutan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 0,5 M |

#### Langkah Kerja

1. Tuangkanlah 3 mL larutan yang akan diselidiki ke dalam tabung reaksi.
2. Celupkan kertas lakmus merah dan lakmus biru ke dalam tabung reaksi yang berisi 3 mL larutan yang akan diselidiki.
3. Amatilah perubahan warna pada kertas lakmus biru dan merah.

#### Pertanyaan

1. Apakah terjadi perubahan warna pada larutan NaCl dan  $\text{CaCl}_2$ ?
2. Apakah terjadi perubahan warna pada larutan HCl,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , NaOH, dan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ?
3. Diskusikan hasil yang Anda peroleh dengan teman-teman Anda, dan tuliskan sifat-sifat larutannya asam, basa, atau netralkah?

Apakah kertas lakmus itu? Bagaimanakah kertas lakmus bekerja? Kertas lakmus adalah suatu indikator (petunjuk) yang dapat membedakan sifat asam dan basa suatu larutan. Pada kertas lakmus terdapat senyawa organik yang dapat berubah warna pada kondisi asam atau basa.

Kertas lakmus merah akan berubah menjadi warna biru jika dicelupkan ke dalam larutan basa. Kertas lakmus biru akan berubah menjadi merah jika dicelupkan ke dalam larutan asam, seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 6.1** Perubahan Warna Larutan dengan Menggunakan Lakmus Merah dan Lakmus Biru.

Larutan	Lakmus Merah	Lakmus Biru
Asam	Merah	Merah
Basa	Biru	Biru
Netral	Merah	Biru

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

- Tuliskan penguraian asam-basa berikut di dalam pelarut air.
  - $\text{H}_3\text{PO}_4$
  - $\text{HClO}_4$
  - $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- Bagaimanakah perubahan warna pada lakmus merah dan lakmus biru jika dicelupkan pada larutan asam, basa, dan netral?

## B. Derajat Kekuatan Asam Basa

Berdasarkan percobaan **Aktivitas Kimia 6.1**, Anda mengetahui bahwa larutan dapat digolongkan sebagai larutan asam, larutan basa, dan larutan netral. Derajat kekuatan asam atau basa dari suatu larutan dapat dihitung dari nilai  $pH$  atau  $pOH$ .

Di Kelas X, Anda telah mengetahui bahwa larutan ada yang bersifat elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan nonelektrolit. Demikian juga zat-zat yang bersifat asam atau basa memiliki derajat kekuatan asam basa yang berbeda.

Untuk mengetahui derajat kekuatan asam atau basa suatu larutan, lakukanlah kegiatan berikut.



### Aktivitas Kimia 6.2

#### Kekuatan Asam Basa

##### Tujuan

Menentukan kekuatan asam atau basa suatu larutan.

##### Alat

- Indikator universal
- Konduktometer atau amperemeter
- Tabung reaksi

##### Bahan

- 50 mL Larutan  $\text{HCl}$  0,5 M
- 50 mL Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M
- 50 mL Larutan  $\text{NaOH}$  0,5 M
- 50 mL Larutan  $\text{NH}_3$  0,5 M.

##### Langkah Kerja

- Masukkan masing-masing larutan  $\text{HCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{NaOH}$ , dan  $\text{NH}_3$  ke dalam tabung reaksi. Celupkan indikator universal, lalu amati perubahan warna pada indikator universal dan bandingkan warnanya dengan data warna yang menunjukkan nilai  $pH$ .

2. Ukur masing-masing larutan dengan konduktometer hantaran listrik.

**Pertanyaan**

1. Manakah larutan yang bersifat asam kuat, asam lemah, basa kuat, dan basa lemah?
2. Apakah yang menyebabkan suatu larutan bersifat asam kuat atau basa kuat?
3. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan ini? Diskusikan dengan teman-teman Anda.

Suatu larutan digolongkan asam kuat jika memiliki daya hantar listrik kuat (larutan elektrolit kuat) dan nilai pH rendah (konsentrasi molar ion  $H^+$  tinggi). Sebaliknya, jika daya hantar listrik lemah dan nilai pH sedang (sekitar 3–6), larutan tersebut tergolong asam lemah.

Demikian juga larutan basa dapat digolongkan sebagai basa kuat jika memiliki daya hantar listrik kuat dan pH sangat tinggi. Jika daya hantar listrik lemah dan nilai pH sedang (sekitar 8–11), larutan tersebut tergolong sebagai basa lemah.

Mengapa larutan asam atau basa memiliki kekuatan berbeda untuk konsentrasi molar yang sama? Semua ini dapat dijelaskan berdasarkan pada konsentrasi molar asam atau basa yang dapat terionisasi di dalam pelarut air.

Banyaknya zat yang terionisasi di dalam larutan disebut *derajat ionisasi* ( $\alpha$ ). Nilai  $\alpha$  dapat ditentukan dari persamaan berikut.

$$\alpha = \frac{\text{Jumlah mol zat terionisasi}}{\text{Jumlah mol zat mula-mula}} \times 100\%$$

Derajat ionisasi menyatakan kekuatan relatif asam atau basa dalam satuan persen. Jika nilai  $\alpha \approx 100\%$ , digolongkan asam atau basa kuat, sedangkan jika nilai  $\alpha < 20\%$ , digolongkan asam atau basa lemah.

**1. Asam Kuat dan Basa Kuat**

Asam kuat adalah zat yang di dalam pelarut air mengalami ionisasi sempurna ( $\alpha \approx 100\%$ ). Di dalam larutan, molekul asam kuat hampir semuanya terurai membentuk ion  $H^+$  dan ion negatif sisa asam. Contoh asam kuat adalah  $HCl$ ,  $HNO_3$ , dan  $H_2SO_4$ .

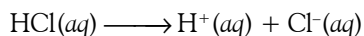
**Contoh 6.1**

**Menentukan Konsentrasi Ion dalam Larutan Asam Kuat**

Berapakah konsentrasi  $H^+$ ,  $Cl^-$ , dan  $HCl$  dalam larutan  $HCl$  0,1 M?

**Jawab:**

$HCl$  tergolong asam kuat. Dalam air dianggap terionisasi sempurna (100%). Reaksi ionnya:



Perhatikan konsentrasi molar masing-masing spesi dalam larutan  $HCl$  0,1 M berikut.

Spesi	[HCl] (M)	[H <sup>+</sup> ] (M)	[Cl <sup>-</sup> ] (M)
Konsentrasi awal	0,1	0	0
Terionisasi	$\approx 100\%$	–	–
Konsentrasi akhir	$\approx 0$	$\approx 0,1$ M	$\approx 0,1$ M

Jadi, setelah terionisasi, dalam larutan  $HCl$  0,1 M terdapat  $[H^+] = 0,1$  M;  $[Cl^-] = 0,1$  M; dan  $[HCl]$  dianggap tidak ada.

**Kata Kunci**

- Derajat ionisasi
- Terionisasi sebagian
- Terionisasi sempurna



Sumber: Chemistry (McMurry), 2001

**Gambar 6.2**

Asam klorida ( $HCl$ ) adalah salah satu contoh asam kuat.



Sama halnya dengan asam, zat yang di dalam larutan bersifat basa dapat digolongkan sebagai basa kuat dan basa lemah berdasarkan kesempurnaan ionisasinya. Basa kuat adalah *zat yang di dalam air terionisasi sempurna* ( $\alpha \approx 100\%$ ), sedangkan basa lemah terionisasi sebagian. Perhatikan **Contoh 6.2** berikut.

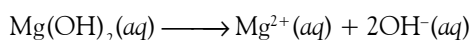
### Contoh 6.2

#### Menentukan Konsentrasi Ion dalam Larutan Basa Kuat

Hitunglah konsentrasi ion-ion dalam larutan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  0,1 M?

**Jawab:**

$\text{Mg}(\text{OH})_2$  adalah basa kuat divalen, persamaan ionisasinya adalah



Karena  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  basa kuat, seluruh  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  akan terurai sempurna menjadi ion-ionnya. Berdasarkan koefisien reaksi, konsentrasi masing-masing spesi di dalam larutan dapat dihitung sebagai berikut.

$$[\text{Mg}^{2+}] = 0,1 \text{ M}; [\text{OH}^{-}] = 0,2 \text{ M}; [\text{Mg}(\text{OH})_2] = 0$$

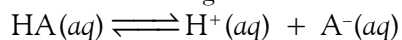
### Kata Kunci

- Keadaan kesetimbangan
- Hukum kesetimbangan
- Asam kuat
- Asam lemah
- Basa kuat
- Basa lemah

## 2. Asam dan Basa Lemah

Asam lemah adalah *senyawa yang kelarutannya di dalam air terionisasi sebagian, sesuai derajat ionisasinya*. Mengapa asam lemah terionisasi sebagian? Berdasarkan hasil penyelidikan diketahui bahwa zat-zat yang bersifat asam lemah, di dalam larutan membentuk kesetimbangan antara molekul-molekul asam lemah dengan ion-ionnya.

Contohnya, jika asam lemah HA dilarutkan dalam air, larutan tersebut akan terionisasi membentuk ion-ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{A}^-$ . Akan tetapi pada waktu bersamaan ion-ion tersebut bereaksi kembali membentuk molekul HA sehingga tercapai keadaan kesetimbangan. Persamaan reaksinya:



Karena HA membentuk keadaan kesetimbangan, pelarutan asam lemah dalam air memiliki nilai tetapan kesetimbangan. Tetapan kesetimbangan untuk asam lemah dinamakan *tetapan ionisasi asam*, dilambangkan dengan  $K_a$ . Rumusnya sebagai berikut.

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

Dalam larutan asam lemah, semua Hukum-Hukum Kesetimbangan yang sudah Anda pelajari, berlaku di sini. Nilai tetapan ionisasi asam tidak bergantung pada konsentrasi awal asam lemah yang dilarutkan, tetapi bergantung pada suhu sistem.

Jika nilai tetapan ionisasi asam diketahui, konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dan ion sisa asam lemah dapat ditentukan. Perhatikan reaksi kesetimbangan asam lemah HA dengan konsentrasi awal misalnya,  $[\text{C}]$  M. Oleh karena HA adalah asam monoprotik,  $[\text{H}^+] = [\text{A}^-]$  sehingga

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \text{ atau } [\text{H}^+] = \sqrt{[\text{HA}]K_a} = [\text{H}^+] = \sqrt{\text{C} \times K_a}$$

Pada rumus tersebut, konsentrasi awal HA dianggap tidak berubah atau konsentrasi HA yang terionisasi dapat diabaikan karena relatif sangat kecil dibandingkan dengan konsentrasi awal HA.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

### Gambar 6.3

Asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) merupakan suatu asam lemah. Asam asetat dikenal sebagai "cuka".

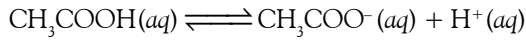
### Contoh 6.3

#### Menghitung $[H^+]$ Asam Lemah

Tentukan  $[H^+]$  yang terdapat dalam asam asetat 0,1 M. Diketahui  $K_a$   $CH_3COOH = 1,8 \times 10^{-5}$ .

Jawab:

Asam asetat adalah asam lemah monoprotik. Persamaan ionisasinya:

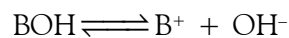


$$[H^+] = \sqrt{C \times K_a} = \sqrt{(0,1M)(1,8 \times 10^{-5})} = 1,34 \times 10^{-3} M$$

Jadi, konsentrasi ion  $H^+$  dalam larutan  $CH_3COOH$  0,1 M adalah  $1,34 \times 10^{-3} M$

Basa lemah adalah basa yang terionisasi sebagian. Sama seperti pada asam lemah, dalam larutan basa lemah terjadi kesetimbangan di antara molekul basa lemah dan ion-ionnya.

Keadaan kesetimbangan suatu basa lemah, misalnya  $BOH$  dapat dinyatakan sebagai berikut.



Tetapan kesetimbangan basa lemah atau *tetapan ionisasi basa* dilambangkan dengan  $K_b$ . Besarnya tetapan ionisasinya sebagai berikut.

$$K_b = \frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}$$

Untuk basa monovalen berlaku hubungan seperti pada asam lemah. Rumusnya sebagai berikut.

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



### Sekilas Kimia

#### Bunga Kembang Sepatu untuk Identifikasi Asam Basa

Larutan kembang sepatu dapat digunakan untuk menentukan sifat asam atau basa pada suatu larutan kimia. Larutan kembang sepatu memiliki warna merah keunguan.

Jika larutan kembang sepatu ditambahkan ke dalam larutan asam sitrat (asam), warna campuran berubah menjadi warna merah cerah. Adapun pada larutan soda kue (basa), warna campuran mulanya hijau kemudian berubah menjadi ungu.

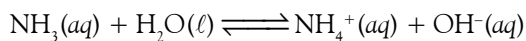
### Contoh 6.4

#### Menghitung $[OH^-]$ dari Basa Lemah

Hitunglah  $[OH^-]$  yang terdapat dalam  $NH_3$  0,1 M. Diketahui  $K_b$   $NH_3 = 1,8 \times 10^{-5}$ .

Jawab:

Amonia adalah basa lemah monovalen. Persamaan ionisasinya:

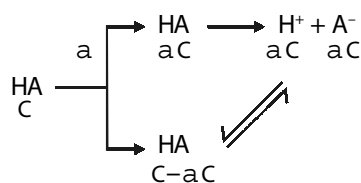


$$[OH^-] = \sqrt{C \times K_b} \\ = \sqrt{(0,1M)(1,8 \times 10^{-5})} = 1,34 \times 10^{-3} M$$

Jadi, konsentrasi  $OH^-$  dalam larutan  $NH_3$  0,1 M adalah  $1,34 \times 10^{-3} M$ .

### 3. Hubungan Derajat Ionisasi dan Tetapan Ionisasi

Bagaimana hubungan antara tetapan ionisasi asam lemah ( $K_a$ ) dan derajat ionisasi ( $\alpha$ )? Hubungan ini dapat dinyatakan dengan diagram kesetimbangan berikut.



Jika konsentrasi HA mula-mula C dan terionisasi sebanyak  $\alpha$ , konsentrasi HA yang terionisasi sebanyak  $\alpha C$ . Adapun konsentrasi HA sisa sebanyak  $C(1-\alpha)$ .

Oleh karena HA merupakan asam monoprotik maka konsentrasi  $H^+$  dan  $A^-$  sama dengan HA terionisasi, yakni  $\alpha C$ . Dengan demikian, tetapan ionisasi asamnya sebagai berikut.

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{(\alpha C)^2}{C(1-\alpha)} \text{ atau } K_a = C \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)}$$

Hubungan antara tetapan ionisasi basa lemah monovalen ( $K_b$ ) dan derajat ionisasinya ( $\alpha$ ) sama seperti pada penjelasan asam lemah. Tetapan ionisasi basanya sebagai berikut.

$$K_b = C \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)}$$

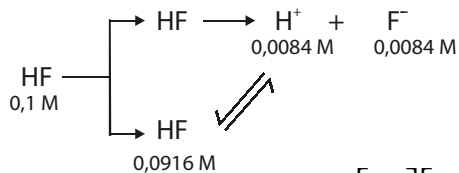
### Contoh 6.5

#### Menghitung $K_a$ dan $\alpha$ dari Asam Lemah

Senyawa HF merupakan asam lemah. Jika 0,1 mol HF dilarutkan dalam 1 liter larutan dan diketahui konsentrasi  $H^+ = 0,0084$  M. Tentukan nilai  $K_a$  dan  $\alpha$ ?

**Jawab:**

Untuk menentukan  $K_a$  HF, berlaku hukum-hukum kesetimbangan kimia.



Tetapan ionisasi HF adalah:  $K_a = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]} = \frac{(0,0084)^2}{(0,0916)} = 7,7 \times 10^{-4}$

Derajat ionisasi HF dapat dihitung dengan rumus:

$$K_a = C \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)}$$

$$7,7 \times 10^{-4} = 0,1 \frac{\alpha^2}{1-\alpha}$$

$$\alpha^2 + 0,0077 \alpha - 0,0077 = 0$$

$$\alpha = 8,4\%$$

### Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Hitung konsentrasi ion  $H^+$  dan ion sisa asam yang terdapat dalam larutan HCl 0,5 M,  $HClO_4$  0,25M, dan  $HNO_3$  0,01 M.
2. Hitung konsentrasi ion  $OH^-$  dan ion sisa basa yang terdapat dalam 100 mL larutan NaOH 0,25 M, KOH 0,5 M, dan  $Mg(OH)_2$  0,05 M.
3. Hitung konsentrasi masing-masing ion yang terdapat dalam larutan HCN 0,5 M. Diketahui  $K_a$  HCN =  $4,0 \times 10^{-10}$ .
4. Jika dalam larutan asam hidrazoid ( $HN_3$ ) 0,2 M terdapat ion  $H^+$  sebanyak  $6 \times 10^{-4}$  M, berapa tetapan asam hidrazoid?
5. Etanolamin,  $HOC_2H_4NH_2$  adalah cairan kental dengan bau serupa amonia yang digunakan untuk mengeluarkan hidrogen sulfida dari gas alam. Jika dalam larutan etanolamin 0,15 M terdapat ion  $OH^-$   $4,6 \times 10^{-12}$  M, berapa nilai  $K_b$  etanolamin?

6. Hitung tetapan ionisasi larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M jika diketahui derajat ionisasinya 1,3%.
7. Tentukan konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{H}^+$  dalam keadaan kesetimbangan, menggunakan nilai  $K_a$  hasil perhitungan pada soal 6.
8. Tentukan  $K_b$  dan  $\alpha$  untuk larutan  $\text{NH}_3$  0,1M jika diketahui larutan tersebut memiliki nilai  $\text{pH} = 9$ .

## C. Penentuan pH Asam Basa

Konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{OH}^-$  hasil ionisasi air sangat kecil maka untuk memudahkan perhitungan digunakan notasi  $\text{pH}$  dan  $\text{pOH}$ . Notasi  $\text{pH}$  menyatakan derajat keasaman suatu larutan.

$\text{pH}$  didefinisikan sebagai negatif logaritma konsentrasi molar ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{pOH}$  sebagai negatif logaritma konsentrasi molar ion  $\text{OH}^-$ . Dalam bentuk matematis ditulis sebagai:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = \log \text{pH} = \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = \log \text{pOH} = \frac{1}{[\text{OH}^-]}$$

Berdasarkan definisi tersebut,  $\text{pH}$  dan  $\text{pOH}$  untuk air pada  $25^\circ\text{C}$  dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (1,0 \times 10^{-7}) = 7$$

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log (1,0 \times 10^{-7}) = 7$$

Prosedur yang sama juga diterapkan untuk menghitung tetapan ionisasi air, yaitu  $\text{p}K_w$ .

$$K_w = [\text{H}^+] [\text{OH}^-] = 1,0 \times 10^{-14}$$

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

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

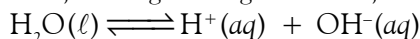
### 1. Perhitungan pH Asam dan Basa Kuat Monoprotik

Jika Anda melarutkan  $\text{HCl}$  0,1 mol ke dalam air sampai volume larutan 1 liter, dihasilkan larutan  $\text{HCl}$  0,1M. Berapakah  $\text{pH}$  larutan tersebut?

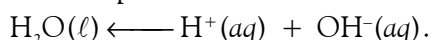
Derajat keasaman atau  $\text{pH}$  larutan ditentukan oleh konsentrasi ion  $\text{H}^+$  sesuai rumus  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ . Untuk mengetahui konsentrasi  $\text{H}^+$  dalam larutan perlu diketahui seberapa besar derajat ionisasi asam tersebut.

$\text{HCl}$  tergolong asam kuat dan terionisasi sempurna membentuk ion-ionnya:  $\text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{H}^+(aq) + \text{Cl}^-(aq)$  sehingga dalam larutan  $\text{HCl}$  0,1 M terdapat  $[\text{H}^+] = [\text{Cl}^-] = 0,1 \text{ M}$ .

Disamping itu, air juga memberikan sumbangan ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  sebagai hasil ionisasi air, masing-masing sebesar  $1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$ .



Jika konsentrasi  $\text{H}^+$  hasil ionisasi air dibandingkan dengan konsentrasi  $\text{H}^+$  hasil ionisasi  $\text{HCl}$ , sumbangan  $\text{H}^+$  dari air sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Apalagi jika ditinjau dari prinsip **Le Chatelier**, penambahan ion  $\text{H}^+$  ( $\text{HCl}$ ) ke dalam air akan menggeser posisi kesetimbangan air ke arah pembentukan molekul air.



Dengan demikian,  $\text{pH}$  larutan  $\text{HCl}$  0,1M hanya ditentukan oleh konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dari  $\text{HCl}$ .

$$\text{pH} (\text{HCl } 0,1\text{M}) = -\log [\text{H}^+] = -\log (1 \times 10^{-1}) = 1.$$

### Kata Kunci

- Prinsip Le Chatelier
- Konsentrasi molar ion  $\text{H}^+$
- Konsentrasi molar ion  $\text{OH}^-$



## Sekilas Kimia

### Air Hujan Bersifat Asam

Penyebab utama hujan asam adalah pembuangan limbah dari industri dan asap knalpot kendaraan bermotor yang mengandung sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ). Gas ini teroksidasi di udara menjadi sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), kemudian bereaksi dengan uap air menghasilkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Polutan lainnya adalah nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) yang dihasilkan dari reaksi antara  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$  pada pembakaran batubara. Senyawa  $\text{NO}_2$  ini larut dalam air membentuk  $\text{HNO}_3$ . Selain itu, adanya  $\text{CO}_2$  terlarut dalam air hujan menyebabkan air hujan pada saat normal bersifat asam dengan pH sekitar 5,6.

Hujan asam memberikan dampak negatif bagi tanaman, di antaranya dapat menghalangi perkecambahan dan reproduksi yang secara langsung akan meracuni tunas yang halus berikut akarnya. Adapun efek hujan asam pada hewan, contohnya pada sistem akuatik, hujan asam dapat menghambat pertumbuhan ikan karena mengganggu metabolismenya.

Sumber: *Chemistry (Chang)*, 2004

## Contoh 6.6

### Menghitung pH Larutan Asam Kuat

Hitunglah pH dari: (a)  $\text{HNO}_3$  0,5 M; (b)  $\text{HCl}$   $1,0 \times 10^{-10}$  M.

Jawab:

- Oleh karena  $\text{HNO}_3$  asam kuat maka  $\text{HNO}_3$  terionisasi sempurna. Spesi yang ada dalam larutan adalah:  $\text{H}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  dari ionisasi air dapat diabaikan, sebab ion  $\text{H}^+$  dari  $\text{HNO}_3$  akan menggeser posisi kesetimbangan ionisasi air. Jadi, dalam larutan  $\text{HNO}_3$ , konsentrasi  $\text{H}^+$  hanya ditentukan oleh hasil ionisasi  $\text{HNO}_3$ .  $\text{pH}(\text{HNO}_3 \text{ 0,5 M}) = -\log(0,5) = 0,3$ .
- Dalam larutan  $\text{HCl}$   $1,0 \times 10^{-10}$  M, spesi yang ada dalam larutan adalah  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Pada kasus ini, konsentrasi  $\text{H}^+$  dari  $\text{HCl}$  sangat kecil dibandingkan konsentrasi  $\text{H}^+$  dari hasil ionisasi air, yaitu  $1,0 \times 10^{-7}$  sehingga  $\text{H}^+$  dari  $\text{HCl}$  dapat diabaikan. Dengan demikian, pH larutan hanya ditentukan oleh konsentrasi  $\text{H}^+$  dari hasil ionisasi air:  $\text{pH}(\text{HCl } 1,0 \times 10^{-10} \text{ M}) = -\log(1,0 \times 10^{-7}) = 7$ . Sebenarnya, pH larutan lebih kecil dari 7 karena ada pergeseran kesetimbangan ionisasi air, akibat penambahan ion  $\text{H}^+$  dari  $\text{HCl}$ .

Basa kuat seperti  $\text{NaOH}$  dan  $\text{KOH}$ , jika dilarutkan dalam air akan terionisasi sempurna dan bersifat elektrolit kuat. Persamaan ionnya:



Berapakah pH larutan basa kuat  $\text{NaOH}$  0,01 M? Untuk mengetahui hal ini, perlu ditinjau spesi apa saja yang terdapat dalam larutan  $\text{NaOH}$  0,01 M. Oleh karena  $\text{NaOH}$  adalah basa kuat maka dalam larutan  $\text{NaOH}$  0,01 M akan terdapat  $[\text{Na}^+] = [\text{OH}^-] = 0,01$  M. Disamping itu, ionisasi air juga memberikan sumbangan  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1,0 \times 10^{-7}$  M.

Penambahan ion  $\text{OH}^-$  ( $\text{NaOH}$ ) ke dalam air akan menggeser posisi kesetimbangan ionisasi air sehingga sumbangan  $\text{OH}^-$  dan  $\text{H}^+$  dari air menjadi lebih kecil dan dapat diabaikan. Dengan demikian, perhitungan pH larutan hanya ditentukan oleh konsentrasi ion  $\text{OH}^-$  dari  $\text{NaOH}$  melalui hubungan  $\text{p}K_w = \text{pH} + \text{pOH}$ .

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 14 + \log(1 \times 10^{-2}) = 12$$

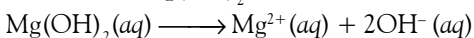
## Contoh 6.7

### Menghitung pH Larutan Basa Kuat

Hitunglah pH larutan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  0,01 M?

Jawab:

Oleh karena  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  basa kuat divalen maka dalam air akan terionisasi sempurna.



Setiap mol  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  menghasilkan 2 mol ion  $\text{OH}^-$  maka  $\text{OH}^-$  hasil ionisasi air dari 0,01  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  terbentuk  $[\text{OH}^-] = 0,02$  M. Karena sumbangan  $\text{OH}^-$  dari ionisasi air sangat kecil maka dapat diabaikan. Dengan demikian, pH larutan dapat ditentukan dari konsentrasi  $\text{OH}^-$  melalui persamaan  $\text{p}K_w$ .

$$\text{p}K_w = \text{pH} + \text{pOH}$$

$$14 = \text{pH} + \log(2 \times 10^{-2})$$

$$\text{pH} = 14 - 1,7 = 12,3$$

## 2. Perhitungan pH Asam dan Basa Lemah Monoprotik

Seperti telah diuraikan sebelumnya, konsentrasi ion-ion dalam larutan asam lemah ditentukan oleh nilai tetapan ionisasi asam ( $K_a$ ).

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

Untuk asam monoprotik, pH larutan asam lemah dapat ditentukan dari persamaan berikut.

$$pH = -\log(\sqrt{C \times K_a})$$

Demikian juga untuk basa lemah, konsentrasi ion OH<sup>-</sup> dalam larutan basa lemah ditentukan oleh tetapan ionisasi basa (K<sub>b</sub>).

$$K_b = \frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}$$

Untuk basa monovalen, pH larutan basa lemah dapat dihitung dari persamaan berikut.

$$pH = pK_w + \log(\sqrt{C \times K_b})$$

### Contoh 6.8

#### Menghitung pH Larutan Asam Lemah

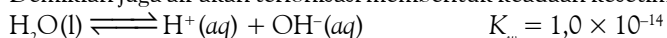
Asam hipoklorit (HClO) adalah asam lemah yang dipakai untuk desinfektan dengan K<sub>a</sub> = 3,5 × 10<sup>-8</sup>. Berapakah pH larutan asam hipoklorit 0,1 M?

**Jawab:**

Dalam air, HClO terionisasi sebagian membentuk kesetimbangan dengan ion-ionnya.



Demikian juga air akan terionisasi membentuk keadaan kesetimbangan.



Karena konsentrasi ion H<sup>+</sup> dari HClO lebih tinggi maka ion H<sup>+</sup> dari air dapat diabaikan.

Jadi, pH larutan ditentukan oleh konsentrasi ion H<sup>+</sup> dari hasil ionisasi HClO.

Karena HClO merupakan asam monoprotik maka dapat menerapkan persamaan untuk menentukan pH larutan.

$$pH = -\log(\sqrt{3,5 \times 10^{-8} \times 0,1}) = 4,23$$

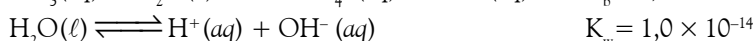
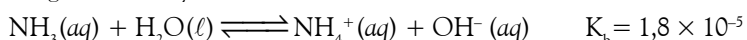
### Contoh 6.9

#### Menghitung pH Larutan Basa Lemah

Hitunglah pH larutan NH<sub>3</sub> 15 M (K<sub>b</sub> = 1,8 × 10<sup>-5</sup>).

**Jawab:**

NH<sub>3</sub> adalah basa lemah. NH<sub>3</sub> dalam larutan air akan membentuk kesetimbangan dengan ion-ionnya.



Sumbangan OH<sup>-</sup> dari air dapat diabaikan karena K<sub>b</sub> >> K<sub>w</sub>.

Perhatikan konsentrasi awal dan konsentrasi setelah tercapai kesetimbangan berikut.

Konsentrasi Awal (mol L <sup>-1</sup> )	Konsentrasi Kesetimbangan (mol L <sup>-1</sup> )
[NH <sub>3</sub> ] <sub>0</sub> = 15,0	[NH <sub>3</sub> ] = 15,0 - x
[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] <sub>0</sub> = 0	[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] = x
[OH <sup>-</sup> ] <sub>0</sub> = 0	[OH <sup>-</sup> ] = x

### Kata Kunci

- Asam/basa monoprotik
- Asam/basa poliprotik





## Mahir Menjawab

Suatu asam lemah LOH mempunyai  $pH = 10 + \log 5$ ,  $K_b(\text{LOH}) = 2,5 \times 10^{-5}$  maka konsentrasi basa tersebut adalah ....

- A. 0,01 M
- B. 0,02 M
- C. 0,03 M
- D. 0,04 M
- E. 0,05 M

### Pembahasan

Untuk basa berlaku:

$$pH = 14 - pOH$$

$$pOH = 14 - pH = 14 - (10 + \log 5)$$

$$= 4 - \log 5 = -(\log 5 - 4)$$

$$= -(\log 5 + \log 10^{-4})$$

$$= -\log 5 + 10^{-4}$$

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

$$-\log [\text{OH}^-] = -\log (5 \times 10^{-4})$$

$$[\text{OH}^-] = 5 \times 10^{-4}$$

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

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

$$5 \times 10^{-4} = (2,5 \times 10^{-5}) M_b$$

$$M_b = \frac{25 \cdot 10^{-8}}{2,5 \cdot 10^{-5}} = 10 \times 10^{-3}$$

$$= 10^{-2} = 0,01 \text{ M}$$

Jadi, jawabannya (D).

UNAS 2003

Konsentrasi ion-ion dalam kesetimbangan dapat dihitung dari persamaan  $K_b$ ,

$$K_b = 1,8 \times 10^{-5} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{(x)(x)}{15-x} \approx \frac{x^2}{15}$$

Catatan: nilai x pada penyebut dapat diabaikan

Dengan demikian,  $x = [\text{OH}^-] = 1,6 \times 10^{-2} \text{ M}$

Nilai pH dihitung berdasarkan hubungannya dengan  $K_w$  melalui  $pK_w = pH + pOH$ .

$$pH = 14 + \log (1,6 \times 10^{-2}) = 12,2$$

Karena  $\text{NH}_3$  adalah basa monovalen maka nilai pH dapat juga dihitung dari persamaan berikut.

$$pH = pK_w + \log(K_b \times C)$$

$$= 14 + \log (\sqrt{1,8 \times 10^{-5} \times 15}) = 12,2$$

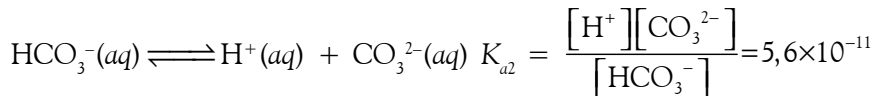
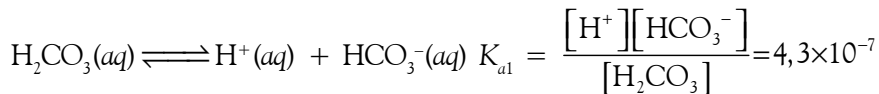
### 3. Perhitungan pH Asam dan Basa Poliprotik

Apakah yang dimaksud dengan asam poliprotik? Asam-asam seperti  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  tergolong asam poliprotik. Berdasarkan contoh tersebut, Anda dapat menyimpulkan bahwa *asam poliprotik adalah asam yang dapat melepaskan lebih dari satu proton (ion  $\text{H}^+$ )*.

Di dalam air, asam-asam tersebut melepaskan proton secara bertahap dan pada setiap tahap hanya satu proton yang dilepaskan. Jumlah proton yang dilepaskan bergantung pada kekuatan asamnya.

Untuk asam-asam kuat seperti  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , pelepasan proton yang pertama sangat besar, sedangkan pelepasan proton kedua relatif kecil dan berkesetimbangan. Asam-asam lemah seperti  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , pelepasan proton pertama dan kedua relatif kecil dan berkesetimbangan.

Tinjaulah asam lemah diprotik, misalnya  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Di dalam air,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  terionisasi membentuk kesetimbangan. Persamaannya:



Oleh karena ada dua tahap ionisasi maka ada dua harga tetapan kesetimbangan, ditandai dengan  $K_{a1}$  dan  $K_{a2}$ , dimana  $K_{a1} \gg K_{a2}$ .

Beberapa asam poliprotik dan tetapan ionisasinya ditunjukkan pada tabel berikut.

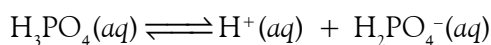
Tabel 6.2 Tetapan Ionisasi pada Beberapa Asam Poliprotik

Zat	Rumus	$K_{a1}$	$K_{a2}$	$K_{a3}$
Asam fosfat	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$7,5 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-8}$	$4,8 \times 10^{-13}$
Asam arsenat	$\text{H}_3\text{AsO}_4$	$5,0 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-8}$	$6,0 \times 10^{-10}$
Asam sulfat	$\text{H}_2\text{SO}_4$	Besar	$1,2 \times 10^{-2}$	
Asam sulfit	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-7}$	
Asam oksalat	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$6,5 \times 10^{-2}$	$6,1 \times 10^{-7}$	
Asam karbonat	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$4,3 \times 10^{-7}$	$4,8 \times 10^{-11}$	

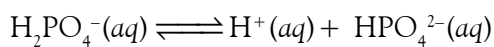
Sumber: General Chemistry, 1990

#### a. Asam Fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

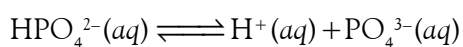
Asam fosfat tergolong asam triprotik yang terionisasi dalam tiga tahap. Persamaan reaksi ionisasinya adalah sebagai berikut.



$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]} = 7,5 \times 10^{-3}$$



$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 6,2 \times 10^{-8}$$



$$K_{a3} = \frac{[\text{H}^+][\text{PO}_4^{3-}]}{[\text{HPO}_4^{2-}]} = 4,8 \times 10^{-13}$$

Berdasarkan nilai tetapan ionisasinya, dapat diprediksi bahwa ionisasi tahap pertama sangat besar dan ionisasi berikutnya sangat kecil, seperti ditunjukkan oleh nilai  $K_a$ , dimana  $K_{a1} \gg K_{a2} \gg K_{a3}$ .

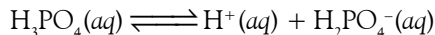
### Contoh 6.10

#### Menentukan pH Asam Fosfat

Berapakah pH larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  5 M? Berapakah konsentrasi masing-masing spesi dalam larutan?

**Jawab:**

Karena  $K_{a2}$  dan  $K_{a3}$  relatif sangat kecil maka spesi utama yang terdapat dalam larutan adalah hasil ionisasi tahap pertama.



dengan

$$K_{a1} = 7,5 \times 10^{-3} = \frac{[\text{H}^+][\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]}$$

Dengan menerapkan Hukum-Hukum Kestimbangan Kimia maka konsentrasi masing-masing spesi:

Konsentrasi Awal (mol L <sup>-1</sup> )	Konsentrasi Setimbang (mol L <sup>-1</sup> )
$[\text{H}_3\text{PO}_4]_o = 5$	$[\text{H}_3\text{PO}_4] = 5 - x$
$[\text{H}_2\text{PO}_4^-]_o = 0$	$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = x$
$[\text{H}^+]_o = 0$	$[\text{H}^+] = x$

$$K_{a1} = 7,5 \times 10^{-3} = \frac{[\text{H}^+][\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]} = \frac{(x)(x)}{5-x} \approx \frac{x^2}{5}$$

Nilai  $x \approx 0,19$ .

Karena nilai  $x$  relatif kecil dibandingkan nilai 5 maka dapat diabaikan.

$[\text{H}^+] = x = 0,19$  M, dan  $\text{pH} = 0,72$ .

Dari persamaan  $K_{a1}$ , diketahui bahwa

$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{H}^+] = 0,19$  M sehingga

$[\text{H}_3\text{PO}_4] = 5 - x = 4,81$  M.

Konsentrasi  $\text{HPO}_4^{2-}$  dapat ditentukan dari persamaan  $K_{a2}$ .



Asam poliprotik dapat melepaskan lebih dari satu atom H.

*Polyprotic acid have more than one ionizable H atom.*



## Sekilas Kimia

### Instalasi Pengolahan Air Gambut

Penduduk yang tinggal di daerah pasang surut dan daerah rawa di Sumatra dan Kalimantan menghadapi kesulitan memperoleh air bersih terutama untuk minum. Hal ini disebabkan karena sumber air yang terdapat di daerah tersebut adalah air gambut yang berwarna coklat yang bersifat asam. Warna coklat air gambut berasal dari zat-zat humus yang terdapat pada tanah dan gambut. Sifat asam air gambut disebabkan oleh adanya tanah lempung mengandung *sulfida* ( $S^{2-}$ ). Sulfida ini akan teroksidasi menjadi *asam sulfat* ( $H_2SO_4$ ).

Oleh karena kebutuhan air minum sangat penting maka diperlukan penelitian dan pengembangan teknologi pengolahan air gambut yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, air gambut dapat diolah menjadi air minum dengan alat dan proses konvensional, yaitu koagulasi, filtrasi, dan desinfektan.

Sumber: [www.pu.go.id](http://www.pu.go.id)

$$K_{a2} = 6,2 \times 10^{-8} = \frac{[H^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]}$$

dengan  $[H^+] = [H_2PO_4^-] = 0,19 \text{ M}$ .

Jadi,  $[HPO_4^{2-}] = K_{a2} = 6,2 \times 10^{-8} \text{ M}$ .

Konsentrasi  $[PO_4^{3-}]$  dapat ditentukan dari persamaan  $K_{a3}$ , dengan nilai  $[H^+]$  dan  $[HPO_4^{2-}]$  diperoleh dari perhitungan sebelumnya.

$$K_{a3} = 4,8 \times 10^{-13} = \frac{(0,19)[PO_4^{3-}]}{(6,2 \times 10^{-8})}$$

$$[PO_4^{3-}] = 1,6 \times 10^{-19} \text{ M}$$

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa:

$$[H_3PO_4] = 4,8 \text{ M}$$

$$[H_2PO_4^-] = [H^+] = 0,19 \text{ M}$$

$$[HPO_4^{2-}] = 6,2 \times 10^{-8} \text{ M}$$

$$[PO_4^{3-}] = 1,6 \times 10^{-19} \text{ M}$$

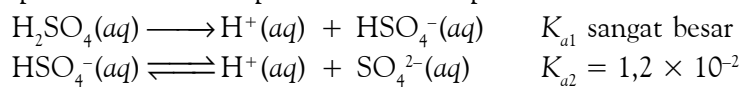
Konsentrasi spesi asam fosfat dalam larutan:  $H_3PO_4 \gg H_2PO_4^- \gg HPO_4^{2-}$ . Artinya, hanya ionisasi tahap pertama yang memberikan sumbangan utama pada pembentukan  $[H^+]$ . Hal ini dapat menyederhanakan perhitungan pH untuk larutan asam fosfat.

**Contoh 6.10** memberikan petunjuk bahwa ionisasi tahap kedua dan ketiga tidak memberikan sumbangan  $[H^+]$  yang bermakna. Hal ini disebabkan  $[HPO_4^{2-}]$  adalah  $6,2 \times 10^{-8} \text{ M}$ , artinya hanya  $6,2 \times 10^{-8} \text{ mol}$  per liter  $H_2PO_4^-$  yang terbentuk, bahkan dapat lebih kecil dari itu.

Walaupun demikian, Anda harus menggunakan ionisasi tahap kedua dan ketiga untuk menghitung  $[HPO_4^{2-}]$  dan  $[PO_4^{3-}]$  karena kedua tahap ionisasi ini merupakan sumber utama ion-ion tersebut.

### b. Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ )

Asam sulfat berbeda dari asam-asam poliprotik yang lain karena asam sulfat merupakan asam kuat pada ionisasi tahap pertama, tetapi merupakan asam lemah pada ionisasi tahap kedua:



Sebagai gambaran, pada **Contoh 6.11** ditunjukkan cara menghitung pH larutan asam sulfat.

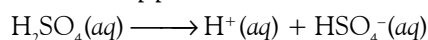
### Contoh 6.11

#### Menentukan pH $H_2SO_4$ Encer

Berapakah pH larutan  $H_2SO_4$  0,01 M?

**Jawab:**

Ionisasi tahap pertama:



Tahap ionisasi ini dapat dianggap sempurna sehingga konsentrasi  $[H^+] = [HSO_4^-] = 0,01 \text{ M}$ .

Ionisasi  $HSO_4^-$  membentuk kesetimbangan berikut.



Konsentrasi Awal (mol L <sup>-1</sup> )	Konsentrasi Setimbang (mol L <sup>-1</sup> )
[HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ] <sub>0</sub> = 0,01	[HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ] = 0,01 - x
[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] <sub>0</sub> = 0	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] = x
[H <sup>+</sup> ] <sub>0</sub> = 0,01	[H <sup>+</sup> ] = 0,01 + x

Persamaan tetapan kesetimbangan  $K_{a2}$ :

$$K_{a2} = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(0,01+x)(x)}{(0,01-x)}$$

Pada persamaan tersebut, nilai x relatif besar sehingga tidak dapat diabaikan. Besar kecilnya nilai x dapat dilihat dari nilai tetapan ionisasi. Jika nilai  $K_a$  besar, nilai x juga besar.

Penataan persamaan tetapan ionisasi menghasilkan persamaan kuadrat berikut.

$$x^2 + (2,2 \times 10^{-2})x - (1,2 \times 10^{-4}) = 0$$

Penyelesaian persamaan kuadrat dengan rumus abc diperoleh:

$$x = 4,5 \times 10^{-3}$$

Nilai pH ditentukan oleh jumlah konsentrasi H<sup>+</sup> dalam kedua tahap.

$$[H^+] = 0,01 + x = 0,01 + 0,0045 = 0,0145 \text{ M}$$

$$\text{pH larutan H}_2\text{SO}_4 \text{ 0,01M} = -\log [H^+] = 1,84.$$

Dengan demikian, dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,01 M, nilai pH akan lebih rendah dari 2, ini disebabkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tidak terionisasi sempurna.

## Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

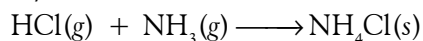
- Mengapa reaksi ionisasi air murni bersifat endoterm? Jelaskan berdasarkan prinsip pergeseran kesetimbangan kimia.
- Berapakah pH air murni pada suhu 37°C?
- Hitunglah pH larutan yang dibuat dengan cara melarutkan 10 g HClO<sub>4</sub> ke dalam air sampai volume larutan 500 mL?
- Hitunglah pH dari: (a) HCl 0,5 M; (b) HNO<sub>3</sub> 0,025 M
- Berapakah pH dari larutan berikut.  
(a) NaOH 0,5 M; dan (b) Ca(OH)<sub>2</sub> 0,5 M
- Asam nikotinat (niasin) adalah asam monoprotik dengan rumus molekul HC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>. Larutan niasin 0,012 M mempunyai pH 3,39 pada 25°C. Berapakah nilai tetapan asam nikotinat?
- Anilin (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub>) digunakan untuk pencelupan pada tekstil. Tetapan basa anilin,  $K_b = 3,8 \times 10^{-10}$  pada 25°C. Jika dalam larutan terdapat 0,05 M anilin dan sebagai basa monovalen, berapakah pH larutan anilin pada suhu tersebut?
- Berapakah pH larutan asam oksalat, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 0,25M? Tentukan konsentrasi molar masing-masing spesi yang terdapat dalam larutan asam tersebut? Diketahui  $K_{a1} = 5,9 \times 10^{-2}$  dan  $K_{a2} = 6,4 \times 10^{-5}$

## D. Asam Basa Bronsted-Lowry dan Lewis

Teori asam basa Arrhenius berhasil menjelaskan beberapa senyawa asam atau basa, tetapi teori tersebut masih memiliki keterbatasan, di antaranya senyawa asam dan basa hanya berlaku di dalam pelarut air, pembentukan ion H<sup>+</sup> atau OH<sup>-</sup> adalah ciri khas asam basa. Jika dalam suatu reaksi tidak membentuk ion H<sup>+</sup> atau OH<sup>-</sup>, reaksi tersebut tidak dapat dikatakan sebagai reaksi asam atau basa.

### 1. Teori Asam Basa Bronsted-Lowry

Fakta menunjukkan, banyak reaksi asam basa yang tidak melalui pembentukan ion H<sup>+</sup> atau OH<sup>-</sup>, misalnya reaksi antara HCl(g) dan NH<sub>3</sub>(g). Persamaannya:





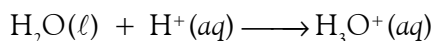
**Gambar 6.4**

Bronsted-Lowry mengemukakan teori asam basa berdasarkan transfer proton.

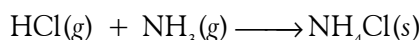
Menurut **Arrhenius**, reaksi HCl dan NH<sub>3</sub> dalam fasa gas tidak dapat dikategorikan sebagai reaksi asam basa karena tidak membentuk ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup>, padahal kedua senyawa itu adalah asam dan basa. Akibat keterbatasan teori Arrhenius, pada 1923, **Johanes Bronsted** dan **Thomas Lowry** mengemukakan teori asam basa berdasarkan transfer proton (ion H<sup>+</sup>).

Menurut Bronsted-Lowry, dalam reaksi yang melibatkan transfer proton, asam adalah spesi yang bertindak sebagai donor proton, sedangkan basa adalah spesi yang bertindak sebagai akseptor proton.

Proton (ion H<sup>+</sup>) dalam air tidak berdiri sendiri melainkan terikat pada molekul air karena atom O pada molekul H<sub>2</sub>O memiliki pasangan elektron bebas yang dapat digunakan untuk berikatan kovalen koordinasi dengan proton membentuk ion hidronium, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. Persamaan reaksinya:



Teori asam-basa Bronsted-Lowry dapat diterapkan terhadap reaksi HCl dan NH<sub>3</sub>. Dalam fasa gas, HCl dan NH<sub>3</sub> tidak terionisasi karena keduanya molekul kovalen yang tergolong reaksi asam basa.



Asam                  Basa                  Garam

Pada reaksi tersebut, molekul HCl bertindak sebagai donor proton (asam), dan molekul NH<sub>3</sub> bertindak sebagai akseptor proton (basa).

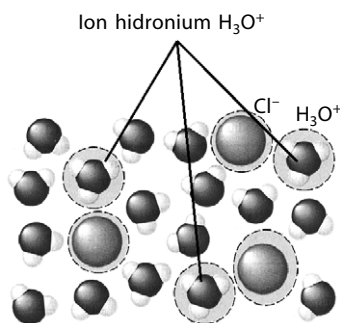
Menurut Bronsted-Lowry, reaksi asam basa yang melibatkan transfer proton membentuk keadaan kesetimbangan. Contoh reaksi antara NH<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>O, arah panah menunjukkan bahwa proton menerima pasangan elektron bebas dari NH<sub>3</sub>, dan ikatan N-H terbentuk. persamaan reaksinya sebagai berikut.



Reaksi ke kanan, NH<sub>3</sub> menerima proton dari H<sub>2</sub>O. Jadi, NH<sub>3</sub> adalah basa dan H<sub>2</sub>O adalah asam. Pada reaksi kebalikannya, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> donor proton terhadap OH<sup>-</sup>. Oleh sebab itu, ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adalah asam dan ion OH<sup>-</sup> adalah basa. Spesi NH<sub>3</sub> dan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> berbeda dalam hal jumlah protonnya. NH<sub>3</sub> menjadi ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> melalui pengikatan proton, sedangkan ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> menjadi NH<sub>3</sub> melalui pelepasan proton. Spesi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan NH<sub>3</sub> seperti ini dinamakan *pasangan konjugat asam basa*.

Pasangan konjugat asam basa terdiri atas dua spesi yang terlibat dalam reaksi asam basa, satu asam dan satu basa yang dibedakan oleh penerimaan dan pelepasan proton. Asam pada pasangan itu dinamakan asam konjugat dari basa, sedangkan basa adalah basa konjugat dari asam. Jadi, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adalah asam konjugat dari NH<sub>3</sub> dan NH<sub>3</sub> adalah basa konjugat dari NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Menurut Bronsted-Lowry, kekuatan asam basa konjugat adalah kebalikannya. Jika suatu senyawa merupakan asam kuat, basa konjugatnya adalah basa lemah. Kekuatan asam basa konjugat dapat digunakan untuk meramalkan arah reaksi asam basa. Suatu reaksi asam basa akan terjadi jika hasil reaksinya merupakan asam lebih lemah atau basa lebih lemah. Dengan kata lain, reaksi akan terjadi ke arah pembentukan spesi yang lebih lemah.



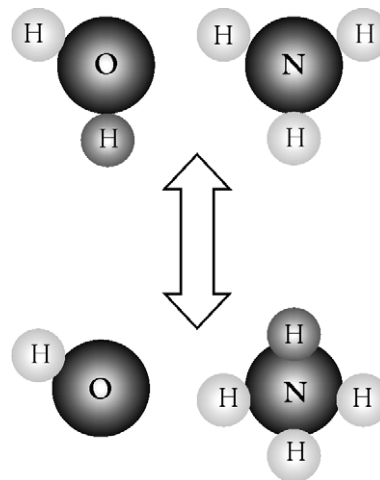
**Gambar 6.5**

Atom O memiliki pasangan elektron besar sehingga dapat membentuk ion hidronium.

Tabel 6.3 Kekuatan Asam dan Basa Konjugat

Asam		Basa Konjugat	
Asam paling kuat	HClO <sub>4</sub> HI HBr HCl H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> HNO <sub>3</sub> H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> HF HNO <sub>2</sub> HCOOH CH <sub>3</sub> COOH H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> S NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> HCN HS <sup>-</sup> H <sub>2</sub> O NH <sub>3</sub>	Basa paling lemah	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> I <sup>-</sup> Br <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup> HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> H <sub>2</sub> O SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> F <sup>-</sup> NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> HCOO <sup>-</sup> CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> HS <sup>-</sup> NH <sub>3</sub> CN <sup>-</sup> S <sup>2-</sup> OH <sup>-</sup> NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Asam paling lemah		Basa paling kuat	

Sumber: General Chemistry, 1990



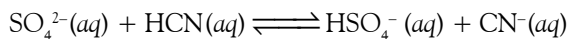
Gambar 6.6

Pasangan konjugat asam basa: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan NH<sub>3</sub>; H<sub>2</sub>O dan OH<sup>-</sup>.

### Contoh 6.12

#### Kekuatan Asam Basa Konjugat

Perhatikan reaksi berikut.

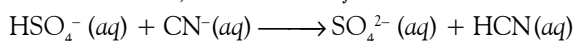


Ke arah manakah reaksi akan terjadi?

Jawab:

Jika kekuatan asam HCN dan HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> dibandingkan, terlihat bahwa HCN adalah asam yang lebih lemah.

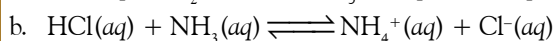
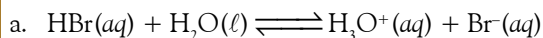
Selain itu, kekuatan basa antara SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan CN<sup>-</sup> terlihat bahwa SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> lebih lemah. Oleh karena itu, reaksi akan terjadi dari arah kanan ke arah kiri persamaan kimia.



### Kegiatan Inkuiri



Berdasarkan penyelidikan, diketahui bahwa reaksi berikut berlangsung ke arah kanan.



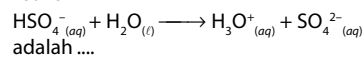
Bagaimanakah membuktikan bahwa reaksi tersebut berlangsung ke arah kanan?

Berdasarkan kekuatan asam basa konjugat, suatu spesi dapat berperan sebagai asam maupun sebagai basa bergantung pada jenis pereaksinya. Spesi seperti ini disebut *amfiprotik*.



### Mahir Menjawab

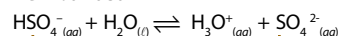
Pasangan asam basa konjugasi dari reaksi



adalah ....

- HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>(aq) dengan H<sub>2</sub>O(ℓ)
- H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq) dengan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq)
- HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>(aq) dengan H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq)
- H<sub>2</sub>O(ℓ) dengan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq)
- HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>(aq) dengan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq)

#### Pembahasan



Asam Basa Asam Basa

Pasangan asam basa konjugasinya:

HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>(aq) dengan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(aq) dan H<sub>2</sub>O(ℓ) dengan H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq).

Jadi, jawabannya (E).

UNAS 2003



### Contoh:

Reaksi antara ion  $\text{HCO}_3^-$  dan HF serta reaksi antara ion  $\text{HCO}_3^-$  dan ion  $\text{OH}^-$ , persamaan kimianya:

1.  $\text{HCO}_3^-(aq) + \text{HF}(aq) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(aq) + \text{F}^-(aq)$
2.  $\text{HCO}_3^-(aq) + \text{OH}^-(aq) \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}(aq) + \text{H}_2\text{O}(aq)$

Pada reaksi (1), ion  $\text{HCO}_3^-$  menerima proton dari HF maka ion  $\text{HCO}_3^-$  bertindak sebagai basa. Pada reaksi (2),  $\text{HCO}_3^-$  memberikan proton kepada ion  $\text{OH}^-$  maka ion  $\text{HCO}_3^-$  bertindak sebagai asam. Jadi, ion  $\text{HCO}_3^-$  dapat bertindak sebagai asam dan juga bertindak sebagai basa. Spesi seperti ini dinamakan *amfiprotik*.

## Contoh 6.13

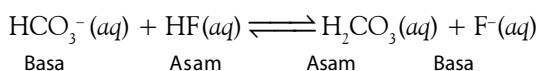
### Asam Basa Menurut Bronsted-Lowry

Pada persamaan reaksi berikut, tentukan spesi manakah yang bertindak sebagai asam atau basa. Tunjukkan pasangan asam basa konjugatnya?

- (a)  $\text{HCO}_3^-(aq) + \text{HF}(aq) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(aq) + \text{F}^-(aq)$
- (b)  $\text{HCO}_3^-(aq) + \text{OH}^-(aq) \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}(aq) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$

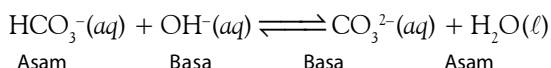
#### Jawab:

- (a) Ruas kiri persamaan, HF adalah donor proton, di ruas kanan,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  sebagai donor proton. Jadi, akseptor proton adalah  $\text{HCO}_3^-$  (kiri) dan  $\text{F}^-$  (kanan). Dengan diketahuinya donor dan akseptor proton, asam dan basa dapat ditentukan.



Pada reaksi ini,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{HCO}_3^-$  adalah pasangan konjugat asam basa. Demikian juga, pasangan HF dan  $\text{F}^-$ .

- (b) Dengan cara yang sama, asam dan basa dapat ditentukan.



Pada reaksi ini,  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$  adalah pasangan konjugat asam-basa. Demikian juga,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{OH}^-$ .

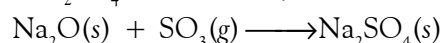
Walaupun  $\text{HCO}_3^-$  berfungsi sebagai suatu asam dalam reaksi (b), tetapi pada reaksi (a) berfungsi sebagai basa. Jadi,  $\text{HCO}_3^-$  tergolong amfiprotik.

## Kata Kunci

- Asam basa Lewis
- Asam basa Bronsted-Lowry

## 2. Teori Asam Basa Lewis

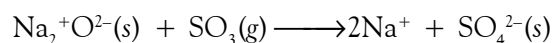
Beberapa reaksi tertentu mempunyai sifat reaksi asam-basa, tetapi tidak cocok dengan teori Bronsted-Lowry maupun teori Arrhenius. Misalnya, reaksi antara oksida basa  $\text{Na}_2\text{O}$  dan oksida asam  $\text{SO}_3$  membentuk garam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Persamaannya:

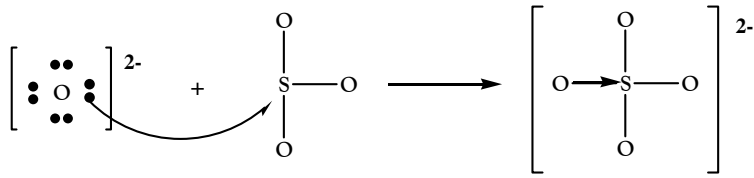


Menurut **Lewis**, konsep asam dan basa secara umum mencakup reaksi oksida asam dan oksida basa, termasuk reaksi transfer proton.

Menurut Lewis, asam adalah spesi yang bertindak sebagai akseptor pasangan elektron bebas dari spesi lain membentuk ikatan kovalen koordinasi. Basa adalah spesi yang bertindak sebagai donor pasangan elektron bebas kepada spesi lain membentuk ikatan kovalen koordinat.

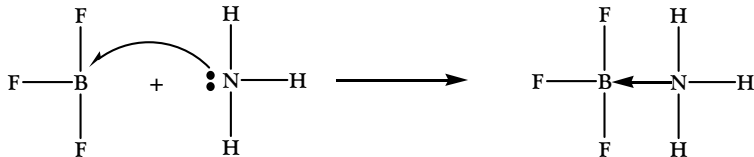
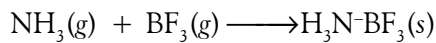
Reaksi  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{SO}_3$  melibatkan reaksi ion oksida, yaitu  $\text{O}^{2-}$  dari padatan ionik  $\text{Na}_2\text{O}$  dan gas  $\text{SO}_3$ . Reaksinya sebagai berikut.





Pada reaksi di atas,  $\text{Na}_2\text{O}$  bertindak sebagai donor pasangan elektron bebas (basa) dan  $\text{SO}_3$  sebagai akseptor pasangan elektron bebas (asam).

Tinjau reaksi antara  $\text{NH}_3$  dan  $\text{BF}_3$ . Reaksi ini merupakan reaksi asam basa menurut Lewis. Persamaan reaksinya:

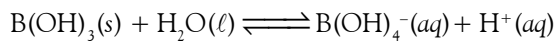


Dalam reaksi tersebut,  $\text{BF}_3$  bertindak sebagai akseptor pasangan elektron bebas (asam) dan  $\text{NH}_3$  sebagai donor pasangan elektron bebas (basa).

### Contoh 6.14

#### Asam Basa Lewis

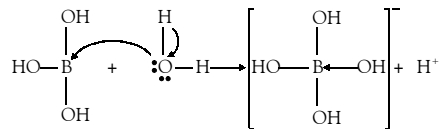
Pada reaksi berikut, tentukan asam dan basa menurut Lewis.



Jawab:

Tuliskan setiap spesi ke dalam bentuk rumus Lewis, kemudian tentukan akseptor dan donor pasangan elektron bebasnya.

Reaksinya adalah



### Tes Kompetensi Subbab D

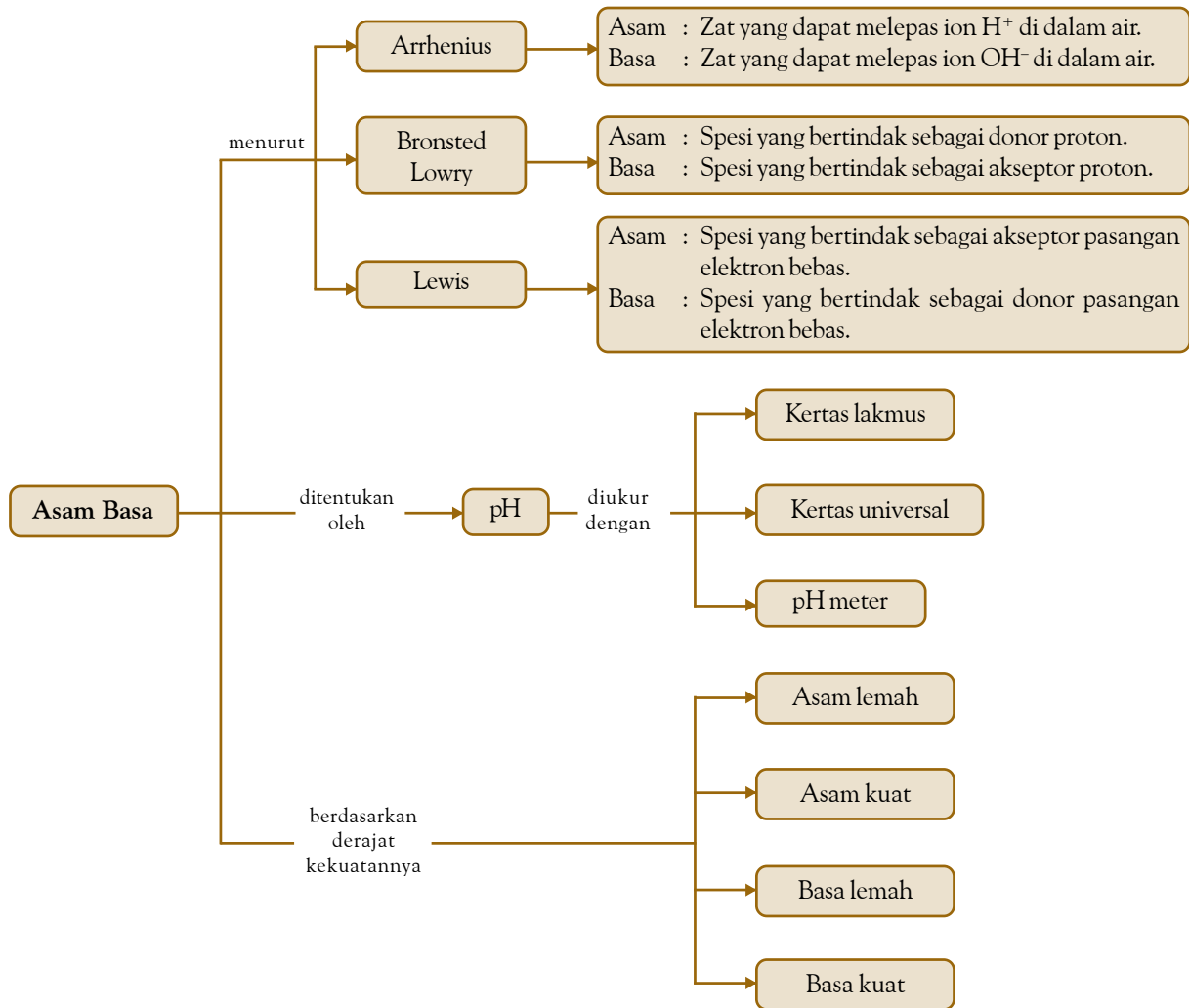
Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Tunjukkan donor dan akseptor proton dalam reaksi berikut.
  - $\text{OH}^- + \text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
  - $\text{H}_2\text{O} + \text{S}^{2-} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{OH}^-$
  - $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
- Identifikasi asam sebagai pereaksi dan basa konjugatnya sebagai hasil reaksi pada persamaan berikut.
  - $\text{HNO}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{NO}_3^-(aq)$
  - $\text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{HS}^-(aq) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(aq) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$
  - $\text{HF}(aq) + \text{OH}^-(aq) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{F}^-(aq)$
- Pada reaksi asam tetrafluoroborat ( $\text{HBF}_4$ ) dan ion asetat ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) terbentuk ion tetrafluoroborat,  $\text{BF}_4^-$  dan asam asetat. Persamaannya:
 
$$\text{HBF}_4 + \text{CH}_3\text{COO}^- \longrightarrow \text{BF}_4^- + \text{CH}_3\text{COOH}$$
 Manakah basa yang lebih lemah,  $\text{BF}_4^-$  atau  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ?
- Pada reaksi manakah  $\text{HSO}_4^-$  berperan sebagai asam dan sebagai basa?
  - $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{HSO}_4^- + \text{NH}_4^+$
  - $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HSO}_4^- + \text{OH}^-$
- Pada reaksi asam-basa berikut, identifikasi spesi manakah yang tergolong asam dan basa menurut Lewis?
  - $\text{SO}_3(g) + (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}(\ell) \longrightarrow (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{OSO}_3(\ell)$
  - $\text{SiF}_4(g) + 2\text{F}^-(aq) \longrightarrow [\text{SiF}_6]^{2-}$
  - $\text{HCl}(g) + \text{NH}_3(g) \longrightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(s)$
  - $\text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$

## Rangkuman

1. Menurut teori Arrhenius, asam adalah zat yang di dalam larutan air dapat melepaskan ion  $H^+$ , sedangkan basa adalah zat yang di dalam larutan air dapat melepaskan ion  $OH^-$ .
2. Konsentrasi  $H^+$  dan  $OH^-$  dalam larutan dinyatakan dengan pH dan pOH, dengan rumus:  
 $pH = -\log [H^+]$  dan  $pOH = -\log [OH^-]$ .
3. Hubungan pH dan pOH dinyatakan melalui tetapan ionisasi air, yaitu:  
 $pK_w = pH + pOH = 14$ .
4. Asam dan basa kuat adalah asam basa yang terionisasi sempurna di dalam air: Konsentrasi  $H^+$  atau  $OH^-$  dalam larutan asam-basa kuat sama dengan konsentrasi asam dan basa semula:  
 $[H^+] = [HX]$  dan  $[OH^-] = [MOH]$
5. Asam dan basa lemah terionisasi sebagian di dalam air dan membentuk kesetimbangan. Tetapan kesetimbangan ionisasinya sebagai berikut.  
 $K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$  dan  $K_b = \frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}$
6. Konsentrasi  $H^+$  dan  $OH^-$  dalam larutan asam dan basa lemah sesuai rumus berikut.  
 $[H^+] = \sqrt{K_a \times C}$  dan  $[OH^-] = \sqrt{K_b \times C}$
7. Kekuatan ionisasi asam basa dinyatakan dengan derajat ionisasi ( $\alpha$ ), dirumuskan sebagai berikut.  
$$\alpha = \frac{(\text{Jumlah zat yang terionisasi})}{(\text{Jumlah zat mula - mula})} \times 100\%$$
8. Hubungan derajat ionisasi dan tetapan ionisasi asam dan basa lemah dinyatakan dengan persamaan:  
 $K_a = C \frac{\alpha^2}{1-\alpha}$  dan  $K_b = C \frac{\alpha^2}{1-\alpha}$
9. Asam poliprotik adalah asam yang dapat melepaskan lebih dari satu proton dan terionisasi secara bertahap.
10. Menurut Bronsted-Lowry, asam adalah zat yang bertindak sebagai donor proton, sedangkan basa adalah sebagai akseptor proton.
11. Bronsted-Lowry juga menyatakan bahwa pasangan asam basa yang terlibat dalam transfer proton dinamakan pasangan konjugat asam basa.
12. Menurut Lewis, asam adalah spesi yang bertindak selaku akseptor pasangan elektron bebas, sedangkan basa selaku donor pasangan elektron bebas membentuk ikatan kovalen koordinasi.

## Peta Konsep



## Refleksi

Pada bab ini Anda telah memahami teori-teori asam basa, baik menurut Arrhenius, Bronsted–Lowry, maupun Lewis. Anda juga telah memahami cara penentuan asam atau basa baik secara kuantitatif dan kualitatif. Penentuan sifat asam atau basa secara kuantitatif, antara lain dengan menggunakan pH meter. Adapun penentuan sifat asam atau basa secara kuantitatif dengan cara menghitung pH larutan asam atau basa

menggunakan data konsentrasi. Dengan demikian, Anda dapat menyimpulkan hubungan antara besarnya harga pH dengan kekuatan asam atau basa, serta menghubungkan kekuatan asam, atau basa dengan derajat ionisasi dan tetapan ionisasi.

Bagaimanakah manfaat lain dari mempelajari Bab Asam Basa ini menurut pemahaman Anda?

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.

- Di antara pernyataan berikut, manakah definisi asam menurut Arrhenius?
  - asam memiliki atom hidrogen
  - asam memiliki atom oksigen
  - asam melepaskan gugus hidroksil
  - asam adalah donor proton
  - asam melepaskan ion hidrogen
- Di antara senyawa berikut yang tergolong basa menurut Arrhenius adalah ...
  - $\text{SO}_2(\text{OH})_2$
  - $\text{HClO}$
  - $\text{KCLO}$
  - $\text{MG}(\text{OH})_2$
  - $\text{CH}_3\text{COOH}$
- Ion-ion  $\text{OH}^-$  akan terbentuk di dalam air dengan melarutkan zat ....
  - $\text{HCl}$
  - $\text{KNO}_3$
  - $\text{NH}_4\text{Cl}$
  - $\text{H}_2\text{SO}_4$
  - $\text{NH}_3$
- Di antara senyawa berikut, manakah yang dalam air bersifat netral?
  - $\text{HClO}_3$
  - $\text{KNO}_3$
  - $\text{Ba}(\text{OH})_2$
  - $\text{H}_2\text{SO}_4$
  - $\text{NH}_3$
- Definisi dari Kekuatan asam adalah ...
  - kepekatan asam dalam larutan
  - kelimpahan asam dalam larutan
  - memiliki daya hantar listrik kuat
  - kemolaran asam yang tinggi
  - kemampuan ionisasi asam dalam larutan
- Definisi dari derajat ionisasi adalah ....
  - kemampuan bereaksi membentuk ion-ion
  - kepekatan asam di dalam larutan
  - kemampuan menghantarkan arus listrik
  - kemampuan terionisasi dalam larutan
  - jumlah mol zat dalam larutan
- Di antara pasangan berikut yang merupakan contoh yang tepat untuk asam kuat dan asam lemah adalah ...
  - Suatu gas dilarutkan ke dalam air membentuk larutan yang dapat mengubah warna lakmus merah menjadi biru. Gas tersebut adalah ....
    - $\text{SO}_2$
    - $\text{H}_2\text{S}$
    - $\text{CO}_2$
    - $\text{NH}_3$
    - $\text{HCl}$
  - Di antara larutan asam berikut, yang memiliki konsentrasi ion  $\text{H}^+$  terbanyak adalah ....
    - 1,2 liter  $\text{HCl}$  1 M
    - 1,0 liter  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 M
    - 0,9 liter  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$  1 M
    - 0,8 liter  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 M
    - 0,7 liter  $\text{HNO}_3$  1 M
  - Di dalam 100 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M konsentrasi molar ion  $\text{H}^+$  nya adalah ....  
 $K_a \text{CH}_3\text{COOH} = 1,75 \times 10^{-5}$ .
    - $1,3 \times 10^{-2} \text{ M}$
    - $1,3 \times 10^{-3} \text{ M}$
    - $1,3 \times 10^{-4} \text{ M}$
    - $1,3 \times 10^{-5} \text{ M}$
    - $1,3 \times 10^{-6} \text{ M}$
  - UMPTN 1995/C:**  
 Konsentrasi  $\text{H}_3\text{O}^+$  dalam larutan  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  0,05 M, yaitu ....
    - $1 \times 10^{-13} \text{ M}$
    - $5 \times 10^{-10} \text{ M}$
    - $1 \times 10^{-5} \text{ M}$
    - $2 \times 10^{-15} \text{ M}$
    - $5 \times 10^{-2} \text{ M}$
  - UMPTN 1994/A:**  
 Konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dalam larutan  $\text{HF}$  0,01 M yang terionisasi sebanyak 20% adalah ....
    - 0,002 M
    - 0,008 M
    - 0,010 M
    - 0,012 M
    - 0,200 M
  - UMPTN 2000/C:**  
 Asam lemah  $\text{HA}$  0,1 M terurai dalam air sebanyak 2%. Tetapan ionisasi asam lemah adalah ....
    - $2 \times 10^{-3}$
    - $4 \times 10^{-3}$
    - $2 \times 10^{-4}$
    - $4 \times 10^{-4}$
    - $4 \times 10^{-5}$
  - Persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan derajat keasaman adalah ....
    - $\text{pH} = \log [\text{H}^+]$
    - $\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH}$
    - $\text{pH} = -\log [\text{OH}^-]$
    - $\text{pH} = -\log [\text{asam}]$
    - $\text{pH} = \text{p}K_w$
  - Satu mililiter larutan  $\text{NaOH}$  1 M ditambahkan ke dalam 1 liter air. pH larutan tersebut adalah ....
    - 3
    - 5
    - 7
    - 9
    - 11

	Asam Lemah	Asam Kuat
A.	Asam sitrat	Asam sulfat
B.	Asam klorida	Asam oksalat
C.	Asam tartrat	Asam etanoat
D.	Asam sitrat	Asam etanoat
E.	Asam nitrat	Asam sulfat

16. Jika 1 L larutan HCl 0,1 M diencerkan sampai 10 L, pH larutan akan ....  
 A. tidak berubah  
 B. lebih kecil dari 1  
 C. lebih besar dari 2  
 D. berubah dari 1 menjadi 0  
 E. berubah dari 1 menjadi 2
17. Jika kertas indikator universal yang basah diuji dengan gas amonia, warna indikator akan menunjukkan nilai pH....  
 A. 1  
 B. 3  
 C. 7  
 D. 9  
 E. 12
18. **UMPTN 1996/A:**  
 Asam asetat dilarutkan dalam air sehingga konsentrasinya 0,1 M. Apabila diketahui  $\alpha = 0,01$ , besarnya konsentrasi  $[H^+]$  pada larutan ini adalah ....  
 A.  $10^{-1}$  M  
 B.  $10^{-2}$  M  
 C.  $10^{-3}$  M  
 D.  $10^{-4}$  M  
 E.  $10^{-5}$  M
19. Berdasarkan percobaan menunjukkan bahwa amonia tergolong basa sebab ....  
 A. memiliki unsur hidrogen dan nitrogen  
 B. larut baik dalam air  
 C. memiliki gugus  $OH^-$  dalam larutannya  
 D. memiliki satu pasang elektron valensi untuk didonorkan  
 E. dapat melepaskan atom hidrogen membentuk  $NH_2^-$  dan  $H^+$
20. Di antara senyawa berikut yang memiliki pH terendah adalah ....  
 A.  $HClO_4$  2,0 M  
 B.  $H_3PO_4$  0,2 M  
 C.  $CH_3COOH$  0,2 M  
 D.  $H_2SO_4$  0,2 M  
 E.  $HCl$  0,02 M
21. Larutan dengan pH = 12 dibuat dengan cara melarutkan x gram NaOH ( $M_r = 40$ ) dalam air sampai 500 mL. Besarnya x adalah ....  
 A. 4,0  
 B. 2,0  
 C. 1,0  
 D. 0,4  
 E. 0,2
22. Suatu asam lemah HA 0,01 M mempunyai pH 3,5. Tetapan asam lemah tersebut adalah ....  
 A.  $5 \times 10^{-8}$   
 B.  $1 \times 10^{-7}$   
 C.  $1 \times 10^{-5}$   
 D.  $2 \times 10^{-3}$   
 E.  $9,98 \times 10^{-6}$
23. Larutan HCl 0,5 M dijenuhkan dengan  $H_2S$  ( $K_a H_2S = 1,0 \times 10^{-7}$ ). Nilai pH untuk larutan tersebut adalah ....  
 A. 0,3  
 B. 0,5  
 C. 1,5  
 D. 3,6  
 E. 4,0
24. pH larutan asam etanoat 0,01 M yang terionisasi sebanyak 4% adalah ....  
 A. 2,0  
 B. 0,6  
 C. 1,6  
 D. 2,4  
 E. 3,4
25. Lambang  $K_b(HS^-)$  adalah tetapan kesetimbangan ionisasi untuk reaksi ....  
 A.  $HS^- + OH^- \rightleftharpoons S^{2-} + H_2O$   
 B.  $HS^- + H_2O \rightleftharpoons H_2S + OH^-$   
 C.  $HS^- + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + S^{2-}$   
 D.  $HS^- + H_3O^+ \rightleftharpoons H_2S + H_2O$   
 E.  $HS^- + CH_3COOH \rightleftharpoons H_2S + CH_3COO^-$
26. Asam fosfat adalah asam poliprotik dengan  $K_{a1} = 7,5 \times 10^{-3}$ ;  $K_{a2} = 6,2 \times 10^{-8}$ ;  $K_{a3} = 4,8 \times 10^{-13}$ . pH larutan  $H_3PO_4$  0,1 M adalah ....  
 A. 1,0  
 B. 2,0  
 C. 2,6  
 D. 1,6  
 E. 3,3
27. Di antara asam berikut yang paling kuat adalah ....  
 A.  $HClO$   
 B.  $HIO_3$   
 C.  $HClO_4$   
 D.  $HBrO$   
 E.  $HIO_4$
28. Di antara reaksi berikut, spesi yang dicetak tebal yang bertindak sebagai basa adalah ....  
 A.  $HNO_3 + HSO_4^- \rightleftharpoons H_2NO_3^+ + SO_4^{2-}$   
 B.  $HCO_3^- + H_2PO_4^- \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + CO_2 + H_2O$   
 C.  $CH_3COOH + HNO_3 \rightleftharpoons CH_3COOH_2 + NO_3^-$   
 D.  $HCl + HBr \rightleftharpoons H_2Cl^+ + Br^-$   
 E.  $HSO_4^- + H_3O^+ \rightleftharpoons H_2SO_4 + H_2O$
29. **Ebtanas 2000:**  
 Diketahui reaksi:  
 $HCOOH + HNO_2 \rightleftharpoons HCOOH_2^+ + NO_2^-$   
 Pasangan asam-basa konjugatnya adalah ....  
 A.  $HNO_2$  dan  $NO_2^-$   
 B.  $HCOOH$  dan  $NO_2^-$   
 C.  $HCOOH$  dan  $HNO_2$   
 D.  $NO_2^-$  dan  $HCOOH_2^+$   
 E.  $HCOOH$  dan  $HCOOH_2^+$
30. **UMPTN 1997/A:**  
 Pada pelarutan  $NH_3$  terjadi reaksi berikut:  
 $NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$   
 Pasangan asam basa konjugatnya adalah ....  
 A.  $NH_3$  dan  $H_2O$   
 B.  $NH_4^+$  dan  $OH^-$   
 C.  $NH_3$  dan  $OH^-$   
 D.  $H_2O$  dan  $NH_4^+$   
 E.  $H_2O$  dan  $OH^-$
31. Basa konjugat dari  $CH_3OH$  adalah ....  
 A.  $OH^-$   
 B.  $CH_3O^-$   
 C.  $H_2O$   
 D.  $CH_4$   
 E.  $O^{2-}$



32. Ion dihidrogen fosfat,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  adalah asam lemah. Basa konjugatnya adalah ....
- A.  $\text{H}_3\text{PO}_4$                       D.  $\text{PO}_4^{3-}$   
 B.  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$                     E.  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$   
 C.  $\text{HPO}_4^{2-}$
33. **UMPTN 1999:**  
 Menurut teori Bronsted-Lowry,  $\text{H}_2\text{O}$  pada reaksi berikut yang bertindak sebagai basa, yaitu ....
- A.  $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HSO}_4^-$   
 B.  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$   
 C.  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$   
 D.  $\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$   
 E.  $\text{H}_2\text{O} + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}_2\text{SO}_4$
34. Di antara spesi berikut bertindak sebagai basa Lewis, kecuali ....
- A.  $\text{H}_2\text{O}$                               D.  $\text{NO}_2^+$   
 B.  $\text{NH}_3$                               E.  $\text{PCl}_3$   
 C.  $\text{CN}^-$
35. Spesi berikut yang berperan sebagai asam Lewis adalah ....
- A.  $\text{H}_2\text{O}$                               D.  $\text{I}^+$   
 B.  $\text{NH}_3$                               E.  $\text{PCl}_3$   
 C.  $\text{CN}^-$

**B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.**

- Jelaskan bagaimana membedakan asam dan basa. Berikan contoh zat dari kehidupan sehari-hari yang cocok dengan kategori itu.
- Nilai  $K_w$  merupakan fungsi suhu seperti berikut.

Suhu (°C)	$K_w$
0	$1,14 \times 10^{-15}$
25	$1,00 \times 10^{-14}$
35	$2,09 \times 10^{-14}$
40	$2,92 \times 10^{-14}$
50	$5,47 \times 10^{-14}$

- Apakah ionisasi air termasuk eksoterm atau endoterm?
  - Berapa pH air murni pada 50°C?
  - Berapa pH larutan netral pada 37°C?
- Larutan sampo pada 25°C memiliki konsentrasi ion hidroksida  $1,5 \times 10^{-9}$  M. Apakah larutan ini asam, basa, atau netral?
  - Kodein adalah turunan morfin dan digunakan sebagai analgesik atau antitusif. Kodein banyak digunakan dalam sirup obat batuk, tetapi harus dengan resep dokter sebab bersifat candu. Rumus kodein adalah  $\text{C}_{18}\text{H}_{21}\text{NO}_3$  dan  $\text{p}K_a = 6,05$ . Hitung pH 10 mL larutan yang mengandung kodein 5,0 mg?
  - Asam *p*-aminobenzoat,  $\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2\text{COOH}$  atau PABA digunakan dalam beberapa zat tabir sinar matahari. Hitung konsentrasi ion hidrogen dan ion *p*-aminobenzoat dalam larutan asam 0,05 M. Nilai  $K_a$  (PABA) =  $2,2 \times 10^{-5}$ .
  - Asam barbiturat,  $\text{HC}_4\text{H}_3\text{N}_2\text{O}_3$  digunakan untuk membuat berbagai minuman barbiturat (digunakan sebagai sedatif). Hitung konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dan ion barbiturat dalam larutan asam 0,2 M, lalu hitunglah berapa pH-nya. Nilai  $K_a$  ( $\text{HC}_4\text{H}_3\text{N}_2\text{O}_3$ ) =  $9,8 \times 10^{-5}$ .
  - Desinfektan pertama yang digunakan oleh Joseph Lister adalah karbol. Zat ini sekarang dikenal sebagai fenol  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ . Hitung konsentrasi ion hidrogen dalam larutan 0,0167 M. Nilai  $K_b$  (fenol) =  $1,0 \times 10^{-10}$ .
  - Asam ftalat ( $\text{H}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ) adalah asam diprotik yang digunakan dalam pembuatan indikator fenolftalein.  $K_{a1} = 1,2 \times 10^{-3}$  dan  $K_{a2} = 3,9 \times 10^{-6}$ .
    - Berapa pH larutan  $\text{H}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4$  0,015 M.
    - Berapa konsentrasi ion ftalat,  $\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4^{2-}$  dalam larutan?
  - Identifikasi pasangan asam basa konjugat pada reaksi berikut.
    - $\text{HCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{Cl}^-(aq)$
    - $\text{HCO}_3^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(aq) + \text{OH}^-(aq)$
    - $\text{NH}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$
    - $\text{CaO}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(aq) + 2\text{OH}^-(aq)$
  - Ke arah manakah arah reaksi berikut akan terjadi?
    - $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$
    - $\text{HCN} + \text{HS}^- \rightleftharpoons \text{CN}^- + \text{H}_2\text{S}$
    - $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

# Bab 7



Sumber: powerlabs.org

Titration merupakan metode untuk menentukan konsentrasi zat di dalam larutan.

## Stoikiometri Larutan dan Titrasi Asam Basa

Hasil yang harus Anda capai:

memahami sifat-sifat larutan asam basa, metode pengukuran, dan terapannya.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

menghitung banyaknya pereaksi dan hasil reaksi dalam larutan elektrolit dari hasil titrasi asam basa.

Hampir semua reaksi kimia adalah reaksi penetralan asam basa. Reaksi ini menghasilkan air dan suatu garam. Misalnya, jika Anda sakit maag akibat asam lambung berlebih, Anda membutuhkan antasid yang dapat menetralkannya. Sama halnya dengan pH darah manusia yang harus tetap netral ( $\text{pH} = 7$ ). Hal ini dikendalikan oleh adanya reaksi kesetimbangan yang terlibat antara asam basa konjugat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{HCO}_3^-$ ).

Bagaimanakah menghitung pH campuran asam basa? Bagaimanakah menentukan suatu reaksi telah mencapai titik setara? Untuk menjawab pertanyaan itu, Anda harus mengetahui berapa konsentrasi ion-ion dari masing-masing pereaksi.

Perhitungan kimia dalam larutan melibatkan konsentrasi molar ion-ion dalam larutan dapat ditentukan melalui teknik titrasi. Titrasi asam basa merupakan salah satu jenis dari titrasi. Bagaimanakah metode pengukurannya? Kemudian, bagaimanakah penerapannya? Anda akan menemukan jawabannya setelah mempelajari bab ini.

- A. Reaksi dalam Larutan
- B. Titrasi Asam Basa

## Tes Kompetensi Awal

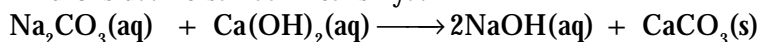
1. Apakah yang Anda ketahui tentang titrasi asam basa?
2. Bagaimanakah menentukan derajat keasaman?
3. Apakah yang dimaksud pH? Bagaimanakah hubungannya dengan konsentrasi molar?

## A. Reaksi dalam Larutan

Hampir sebagian besar reaksi-reaksi kimia berlangsung dalam larutan. Ada tiga ciri reaksi yang berlangsung dalam larutan, yaitu terbentuk endapan, gas, dan penetralan muatan listrik. Ketiga reaksi tersebut umumnya tergolong reaksi metatesis yang melibatkan ion-ion dalam larutan. Oleh karena itu, Anda perlu mengetahui lebih jauh tentang ion-ion dalam larutan.

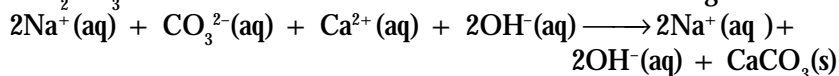
### 1. Persamaan Ion dan Molekul

Selama ini, Anda menuliskan reaksi-reaksi kimia di dalam larutan dalam bentuk molekul. Contoh, reaksi antara natrium karbonat dan kalsium hidroksida. Persamaan reaksinya:



Persamaan reaksi ini disebut persamaan molekul sebab zat-zat yang bereaksi ditulis dalam bentuk molekul. Persamaan molekul tidak memberikan petunjuk bahwa reaksi itu melibatkan ion-ion dalam larutan, padahal  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  di dalam air berupa ion-ion.

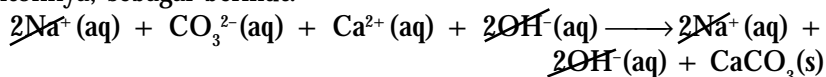
Ion-ion yang terlibat dalam reaksi tersebut adalah ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan ion  $\text{OH}^-$  yang berasal dari  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , serta ion  $\text{Na}^+$  dan ion  $\text{CO}_3^{2-}$  yang berasal dari  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Persamaan reaksi dalam bentuk ion ditulis sebagai berikut.



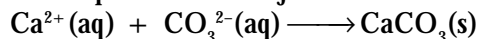
Persamaan ini dinamakan persamaan ion, yaitu suatu persamaan reaksi yang melibatkan ion-ion dalam larutan. Petunjuk perubahan persamaan molekul menjadi persamaan ion adalah sebagai berikut.

1. Zat-zat ionik, seperti  $\text{NaCl}$  umumnya ditulis sebagai ion-ion. Ciri zat ionik dalam persamaan reaksi menggunakan fasa (aq) .
2. Zat-zat yang tidak larut (endapan) ditulis sebagai rumus senyawa. Ciri dalam persamaan reaksi dinyatakan dengan fasa (s) .

Dalam persamaan ionik, ion-ion yang muncul di kedua ruas disebut ion spektator (ion penonton), yaitu ion-ion yang tidak turut terlibat dalam reaksi kimia. Ion-ion spektator dapat dihilangkan dari persamaan ion. Contohnya, sebagai berikut.



Sehingga persamaan dapat ditulis menjadi:

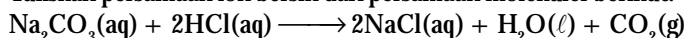


Persamaan ini dinamakan persamaan ion bersih. Dalam hal ini, ion  $\text{OH}^-$  dan ion  $\text{Na}^+$  tergolong ion-ion spektator.

### Contoh 7.1

#### Penulisan Persamaan Ion Bersih

Tuliskan persamaan ion bersih dari persamaan molekul berikut.



### Kata Kunci

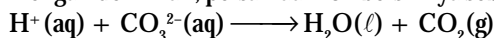
- Persamaan molekul
- Persamaan ion
- Reaksi pengendapan
- Reaksi pembentukan gas

Jawab:

Natrium karbonat dalam air terurai membentuk ion-ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ . HCl juga terurai dalam air menjadi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ .

Setelah terjadi reaksi, hanya NaCl yang tetap berada dalam bentuk ion-ion, yaitu  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ , sedangkan yang lainnya berupa cairan murni dan gas. Karena  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  tetap sebagai ion, ion-ion ini disebut ion spektator.

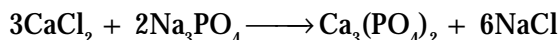
Dengan demikian, persamaan ion bersihnya sebagai berikut.



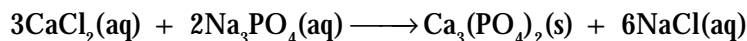
#### a. Reaksi Pengendapan

Reaksi dalam larutan tergolong reaksi pengendapan jika salah satu produk reaksi tidak larut di dalam air. Contoh zat yang tidak larut di dalam air, yaitu  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{BaCO}_3$ .

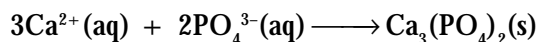
Untuk mengetahui kelarutan suatu zat diperlukan pengetahuan empirik sebagai hasil pengukuran terhadap berbagai zat. Perhatikanlah reaksi antara kalsium klorida dan natrium fosfat berikut.



NaCl akan larut di dalam air, sedangkan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  tidak larut. Senyawa-senyawa fosfat sebagian besar larut dalam air, kecuali senyawa fosfat dari natrium, kalium, dan amonium. Oleh karena itu, persamaan reaksi dapat ditulis sebagai berikut.



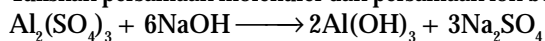
Dengan menghilangkan ion-ion spektator dalam persamaan reaksi itu, perasamaan ion bersih dari reaksi dapat diperoleh.



### Contoh 7.2

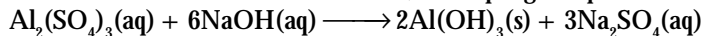
#### Meramalkan Reaksi Pembentukan Endapan

Tuliskan persamaan molekuler dan persamaan ion bersih dari reaksi berikut.

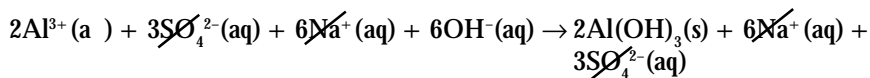


Jawab:

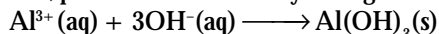
Menurut data empirik diketahui aluminium sulfat larut, sedangkan aluminium hidroksida tidak larut. Oleh karena itu, reaksi pengendapan akan terjadi.



Untuk memperoleh persamaan ion bersih, tuliskan zat yang larut sebagai ion-ion dan ion-ion spektator diabaikan.

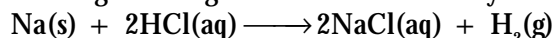


Jadi, persamaan ion bersihnya sebagai berikut.



#### b. Reaksi Pembentukan Gas

Reaksi kimia dalam larutan, selain dapat membentuk endapan juga ada yang menghasilkan gas. Misalnya, reaksi antara natrium dan asam klorida membentuk gas hidrogen. Persamaan reaksinya:



Beberapa reaksi yang menghasilkan gas disajikan pada tabel berikut.

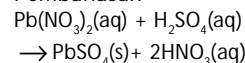


## Mahir Menjawab

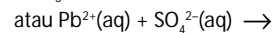
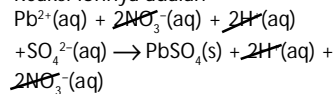
Reaksi antara reaksi  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dalam larutan paling tepat diberikan oleh persamaan ...

- $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{PbSO}_4(\text{aq}) + 2\text{NO}_3^-(\text{aq})$
- $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{HNO}_3(\text{aq})$
- $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{PbSO}_4(\text{s})$
- $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq})$
- $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \longrightarrow \text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{NO}_3^-(\text{aq})$

Pembahasan



Reaksi ionnya adalah



Jadi, jawabannya (C).

UMPTN 2001



Sumber: Chemistry (McMurry), 2001

Gambar 7.1

$\text{MgCl}_2$  akan mengendap jika  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  direaksikan dengan HCl.

**Tabel 7.1** Beberapa Contoh Reaksi yang Menghasilkan Gas

Jenis Gas	Contoh Reaksi
CO <sub>2</sub>	$\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{CO}_2(\text{g})$
H <sub>2</sub> S	$\text{Na}_2\text{S}(\text{aq}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{S}(\text{g})$
SO <sub>2</sub>	$\text{Na}_2\text{SO}_3(\text{aq}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{SO}_2(\text{g})$

## Kata Kunci

- Reaksi penetralan asam basa (penggaraman)

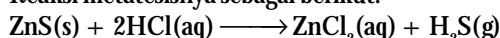
## Contoh 7.3

### Reaksi Kimia yang Menghasilkan Gas

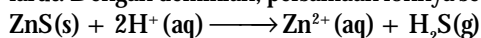
Tuliskan persamaan molekuler dan persamaan ionik untuk reaksi seng sulfida dan asam klorida.

Jawab:

Reaksi metatesisnya sebagai berikut.



Dari data kelarutan diketahui bahwa ZnS tidak larut dalam air, sedangkan ZnCl<sub>2</sub> larut. Dengan demikian, persamaan ioniknya sebagai berikut.



Untuk mengetahui reaksi kimia yang terjadi dalam larutan, Anda dapat melakukan kegiatan berikut.



## Aktivitas Kimia 7.1

### Reaksi Kimia dalam Larutan

Tujuan

Mengamati perubahan reaksi dalam larutan.

Alat

1. Tabung reaksi
2. Pipet tetes

Bahan

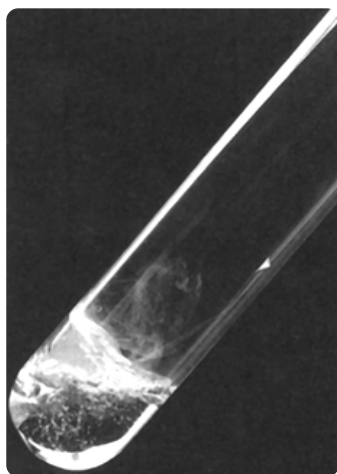
- |                                    |                                           |
|------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1. Larutan CuSO <sub>4</sub> 0,1 M | 5. Serbuk Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> |
| 2. Larutan NaOH 0,1 M              | 6. Metanol                                |
| 3. Larutan NH <sub>3</sub> 0,5 M   | 7. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pekat   |
| 4. Larutan HCl 0,5 M               | 8. KMnO <sub>4</sub>                      |

Langkah Kerja

1. Masukkan larutan CuSO<sub>4</sub> 0,1 M ke dalam tabung reaksi yang berisi larutan NaOH 0,1 M. Amati perubahan yang terjadi.
2. Masukkan larutan NH<sub>3</sub> 0,1 M tetes demi tetes ke dalam larutan yang berisi larutan CuSO<sub>4</sub> 0,1 M. Amati perubahan yang terjadi.
3. Masukkan serbuk Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ke dalam tabung reaksi yang berisi larutan HCl 0,5 M. Amati perubahan yang terjadi.
4. Masukkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat dengan cara mengalirkan tetesannya melalui dinding tabung reaksi yang berisi metanol secara hati-hati sampai terbentuk dua lapisan (jangan dikocok), kemudian tambahkan beberapa butir KMnO<sub>4</sub>. Amati perubahan yang terjadi.

Pertanyaan

1. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi dalam bentuk molekuler dan persamaan ion bersihnya.
2. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan tersebut. Diskusikan dengan teman-teman Anda?



Sumber: Introductory Chemistry, 1997

**Gambar 7.2**

Reaksi Mg dengan asam sulfat merupakan reaksi kimia yang menghasilkan gas.

## 2. Reaksi Penetralan Asam Basa

Apa yang terjadi jika asam direaksikan dengan basa? Untuk mengetahui hal ini, lakukanlah percobaan berikut.



## Aktivitas Kimia 7.2

### Reaksi Penetralan Asam Basa

#### Tujuan

Mengamati reaksi penetralan asam basa.

#### Alat

1. Indikator universal
2. Gelas kimia

#### Bahan

1. 25 mL HCl 0,1 M
2. 25 mL NaOH 0,1 M

#### Langkah Kerja

1. Tentukan pH 25 mL HCl 0,1 M yang disimpan dalam gelas kimia 1 dengan menggunakan indikator universal.
2. Tentukan pH 25 mL NaOH 0,1 M yang disimpan dalam gelas kimia 2 dengan menggunakan indikator universal.
3. Campurkan kedua larutan tersebut dan kocok. Ukurlah kembali pH larutan yang telah dicampurkan.

#### Pertanyaan

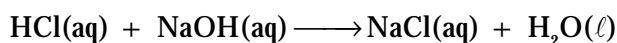
1. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi dalam bentuk molekuler dan persamaan ion bersihnya.
2. Berapakah pH larutan masing-masing larutan?
3. Apakah pH campuran mendekati nilai 7 (pH netral)?

Di dalam air, asam kuat terurai membentuk ion  $H^+$  dan ion sisa asam. Keberadaan ion  $H^+$  dalam larutan asam ditunjukkan oleh nilai pH yang rendah ( $pH = -\log [H^+] < 7$ ).

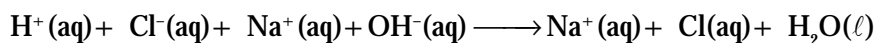
Dalam larutan basa akan terbentuk ion  $OH^-$  dan ion sisa basa. Keberadaan ion  $OH^-$  dalam larutan basa ditunjukkan oleh nilai pH yang tinggi ( $pH = 14 - pOH > 7$ ).

Jika larutan asam dan basa dicampurkan akan terjadi reaksi penetralan ion  $H^+$  dan  $OH^-$ . Bukti terjadinya reaksi penetralan ini ditunjukkan oleh nilai H mendekati 7 ( $pH \approx 7$ ).

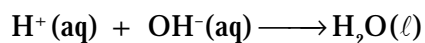
Nilai  $pH \approx 7$  menunjukkan tidak ada lagi ion  $H^+$  dari asam dan ion  $OH^-$  dari basa selain ion  $H^+$  dan  $OH^-$  hasil ionisasi air. Dengan demikian, pada dasarnya reaksi asam basa adalah reaksi penetralan ion  $H^+$  dan  $OH^-$ . Persamaan reaksi molekulernya:



Persamaan reaksi ionnya:



Persamaan ion bersihnya:



Reaksi asam basa disebut juga reaksi penggaraman sebab dalam reaksi asam basa selalu dihasilkan garam. Pada reaksi HCl dan NaOH dihasilkan garam dapur (NaCl).

Beberapa contoh reaksi penetralan asam basa atau reaksi pembentukan garam sebagai berikut.

- $H_2SO_4(aq) + Mg(OH)_2(aq) \longrightarrow MgSO_4(aq) + 2H_2O(l)$
- $HNO_3(aq) + Ca(OH)_2(aq) \longrightarrow Ca(NO_3)_2(aq) + H_2O(l)$
- $HCl(aq) + NH_4OH(aq) \longrightarrow NH_4Cl(aq) + H_2O(l)$



## Sekilas Kimia

### Serat sebagai Suplemen Diet

Anda tentu pernah mengonsumsi tahu atau tempe bukan? Namun, tahukah Anda baru-baru ini hasil penelitian menunjukkan bahwa air sisa pembuatan tahu dan tempe mengandung bakteri asam asetat yang dapat menghasilkan serat. Serat merupakan komponen yang sangat baik bagi kesehatan terutama dalam saluran pencernaan dan proses metabolisme. Kelebihan serat dari bakteri ini adalah memiliki sifat fisika dan kimia yang relatif tetap dan dapat diproduksi dalam jumlah besar tanpa bergantung pada musim. Selain itu, biaya produksinya rendah.

Proses pembuatan serat menggunakan media yang bersifat asam. Sumber karbon yang berlebih dan keasaman media memungkinkan bakteri membentuk lapisan Nata de Soya (suplemen diet). Akan tetapi, pada pasca panen serat ini memerlukan perlakuan basa untuk meningkatkan kekerasannya setelah dilakukan perendaman.

Sumber: [www.iptek.net.id](http://www.iptek.net.id)



## Kegiatan Inkuiri



Mengapa semua reaksi penetralan atau reaksi pengaraman tidak selalu menghasilkan nilai pH = 7? Jelaskan.

### 3. Perhitungan Kuantitatif Reaksi dalam Larutan

Perhitungan kuantitatif reaksi-reaksi kimia dalam larutan umumnya melibatkan konsentrasi molar dan pH. Hal-hal yang perlu diketahui dalam mempelajari stoikiometri larutan adalah apa yang diketahui dan yang ditanyakan, kemudian diselesaikan dengan empat langkah berikut.

1. Tuliskan persamaan reaksi setara.
2. Ubah besaran yang diketahui ke satuan mol.
3. Gunakan perbandingan koefisien dari persamaan kimia setara untuk menentukan besaran yang tidak diketahui dalam mol.
4. Ubah satuan mol ke dalam besaran yang ditanyakan.

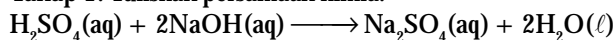
### Contoh 7.4

#### Menentukan olume Pereaksi

Berapa mililiter NaOH 0,25 M harus ditambahkan agar bereaksi sempurna dengan 25 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M.

Jawab:

Tahap 1: Tuliskan persamaan kimia.



Tahap 2: Ubah besaran yang diketahui ke dalam satuan mol.

$$\frac{0,1 \text{ mol}}{1.000 \text{ mL}} \times 25 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2\text{SO}_4$$

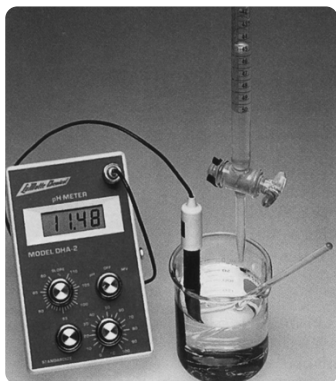
Tahap 3: Tentukan rasio stoikiometri (RS) reaksi untuk menentukan jumlah mol yang dicari.

$$\frac{2 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4} \times 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2\text{SO}_4 = 5 \times 10^{-3} \text{ mol NaOH}$$

Tahap 4: Ubah satuan mol ke dalam satuan yang ditanyakan.

$$\text{olume NaOH} = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ mol NaOH}}{0,25 \text{ mol NaOH}} \times 1.000 \text{ mL larutan} = 20 \text{ mL}$$

Jadi, volume NaOH 0,25 M yang harus ditambahkan adalah 20 mL.



Sumber: Chemistry (McMurry), 2001

Gambar 7.3

pH meter dapat digunakan secara langsung pada saat melakukan titrasi asam basa.

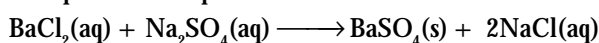
### Contoh 7.5

#### Menentukan Berat Hasil Reaksi

Jika 25 mL larutan BaCl<sub>2</sub> 0,1 M direaksikan dengan 25 mL larutan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,25 M, berapakah massa BaSO<sub>4</sub> yang diendapkan?

Jawab:

Tahap 1: Tuliskan persamaan kimia.



Tahap 2–3: Ubah konsentrasi masing-masing pereaksi ke dalam satuan mol, tentukan pereaksi pembatas, tentukan nilai RS, dan hitung jumlah mol BaSO<sub>4</sub>.

Jumlah mol BaCl<sub>2</sub>:

$$\frac{25 \text{ mL}}{1.000 \text{ mL}} \times 0,1 \text{ mol BaCl}_2 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Jumlah mol Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

$$\frac{25 \text{ mL}}{1.000 \text{ mL}} \times 0,25 \text{ mol Na}_2\text{SO}_4 = 6,25 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Jumlah mol pereaksi paling sedikit menjadi pereaksi pembatas. Dalam reaksi ini adalah BaCl<sub>2</sub>. Oleh karena itu, jumlah mol BaSO<sub>4</sub> ditentukan oleh BaCl<sub>2</sub>.

Jumlah mol BaSO<sub>4</sub> = RS × mol BaCl<sub>2</sub>

$$\frac{1 \text{ mol BaSO}_4}{1 \text{ mol BaCl}_2} \times 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol BaCl}_2 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Tahap 4: Hitung massa BaSO<sub>4</sub> yang terbentuk

Massa molar BaSO<sub>4</sub> = 233 g mol<sup>-1</sup>

Massa BaSO<sub>4</sub> = 233 g mol<sup>-1</sup> × 2,5 × 10<sup>-3</sup> mol = 0,58 g

Jadi, massa BaSO<sub>4</sub> yang terbentuk adalah 0,58 g

#### 4. Perhitungan pH Campuran

Jika larutan asam atau basa dicampurkan dengan larutan asam atau basa yang sejenis atau berbeda jenis maka konsentrasi asam atau basa dalam larutan itu akan berubah. Perubahan konsentrasi ini tentu akan mengubah pH larutan hasil pencampuran. Perhatikan contoh-contoh berikut.

#### Contoh 7.6

##### Menghitung pH Campuran Asam yang Sama

Sebanyak 50 mL larutan HCl 0,1 M dicampurkan dengan 100 mL larutan HCl 0,5 M. Berapakah pH larutan sebelum dan sesudah dicampurkan?

Jawab:

pH 50 mL larutan HCl 0,1 M = -log [H<sup>+</sup>] = 1,0

pH 100 mL larutan HCl 0,5 M = -log (0,5) = 0,3

Setelah dicampurkan, volume campuran menjadi 150 mL. Jumlah mol HCl dalam campuran sebagai berikut.

$$50 \text{ mL} \times 0,1 \text{ mmol mL}^{-1} \text{ HCl} = 5 \text{ mmol}$$

$$100 \text{ mL} \times 0,5 \text{ mmol mL}^{-1} \text{ HCl} = 50 \text{ mmol}$$

$$\text{Konsentrasi molar HCl dalam campuran} = \frac{55 \text{ mmol}}{150 \text{ mL}} = 0,367 \text{ M}$$

$$\text{Jadi, pH campuran} = -\log [0,367] = 0,44$$

Pencampuran larutan asam dan basa akan membentuk reaksi penetralan. Jika jumlah mol asam dan basa dalam campuran itu sama, terjadilah penetralan sempurna sehingga pH larutan sama dengan 7. Tetapi, jika terdapat salah satu pereaksi berlebih, kelebihanannya akan menentukan pH larutan hasil pencampuran.

#### Contoh 7.7

##### Menghitung pH Campuran Asam dan Basa

Jika 25 mL HCl 0,5 M dicampurkan dengan 50 mL NaOH 0,1M, bagaimanakah pH hasil pencampuran?



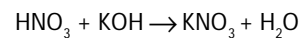
## Mahir Menjawab

Berapakah pH larutan yang diperoleh dengan mencampurkan 50 mL HNO<sub>3</sub> 0,2 M dan 50 mL KOH 0,4 M?

- A. 2                      D. 10  
B. 5                      E. 13  
C. 7

Pembahasan

Persamaan reaksi:



mmol awal    10    20

mmol bereaksi 10    10    10

mmol sisa    0    10    10

$$\text{Zat tersisa basa kuat} = \frac{10 \text{ mmol}}{100 \text{ mL}}$$

$$= 0,1 \text{ M (pOH} = 1)$$

maka pH basa kuat adalah

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

$$= 14 - 1 = 13$$

Jadi, jawabannya (E).

SPMB 2005



## Sekilas Kimia

### Reaksi Penetralan di Lambung

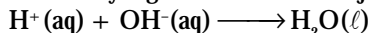
Pernahkah Anda sakit maag? Maag terjadi karena kelebihan asam lambung (HCl) sehingga lambung terasa sakit. Mengapa? Hal ini terjadi karena dinding lambung mengalami peradangan.

Untuk menetralkan kelebihan asam lambung tersebut digunakan suatu basa yang dinamakan antasida sehingga rasa nyeri pada lambung akan berkurang. Contoh suatu antasida di antaranya adalah Al(OH)<sub>3</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>, dan CaCO<sub>3</sub>.

Sumber: Introductory Chemistry, 1997

Jawab:

Untuk mengetahui nilai pH campuran asam basa, perlu ditentukan jumlah mol asam atau basa yang berlebih setelah terjadi reaksi penetralan.



Jumlah mol ion  $\text{H}^+$  dalam  $\text{HCl} = 25 \text{ mL} \times 0,5 \text{ mmol mL}^{-1} = 12,5 \text{ mmol}$

Jumlah mol ion  $\text{OH}^-$  dalam  $\text{NaOH} = 50 \text{ mL} \times 0,1 \text{ mmol mL}^{-1} = 5 \text{ mmol}$

Seluruh ion  $\text{OH}^-$  dinetralkan oleh ion  $\text{H}^+$  sehingga sisa ion  $\text{H}^+$  dalam larutan sebanyak 7,5 mmol. Karena volume campuran 75 mL maka konsentrasi molar ion  $\text{H}^+$  sisa:

$$[\text{H}^+] = \frac{7,5 \text{ mmol}}{75 \text{ mL}} = 0,1 \text{ M}$$

Dengan demikian,  $\text{pH}$  campuran =  $-\log(0,1) = 1$ .

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Tuliskan persamaan ion bersih dari persamaan molekuler berikut.
  - $\text{Ca}(\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g})$
  - $\text{NH}_4\text{HSO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$
  - $\text{Cu}(\text{s}) + 2\text{AgNO}_3(\text{aq}) \longrightarrow 2\text{Ag}(\text{s}) + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$
- Tuliskan persamaan molekul dan persamaan ion bersih dari reaksi berikut.
  - $\text{FeCl}_3 + \text{NaOH} \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{NaCl}$
  - $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{BaSO}_4 + \text{NaNO}_3$
- Apakah dalam reaksi berikut akan menghasilkan gas, endapan, atau hanya sebagai ion-ionnya?
  - $\text{BaCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \longrightarrow$
  - $\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{NaCl}(\text{aq}) \longrightarrow$
  - $2\text{Na}(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell) \longrightarrow$
  - $\text{NaNO}_3(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow$
- Aluminium bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  menurut persamaan reaksi berikut.
$$2\text{Al}(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \longrightarrow 2\text{Al}(\text{SO}_4)_3(\text{aq}) + 3\text{H}_2(\text{g})$$

Jika 20 g aluminium dimasukkan ke dalam 25 mL larutan yang  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 M, berapa gram  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  yang terbentuk?
- Sebanyak 50 mL  $\text{HNO}_3$  65% ( $\rho = 1,42 \text{ g mL}^{-1}$ ) diencerkan menjadi 20% ( $\rho = 1,1 \text{ g mL}^{-1}$ ). Hitunglah kemolaran  $\text{HNO}_3$  pekat dan encer.
- Sebanyak 385 mL larutan  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  1,5 M dicampurkan dengan 615 mL larutan  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  1,25 M. Berapakah kemolaran larutan sukrosa yang terbentuk?
- Berapakah pH larutan dari hasil pencampuran 75 mL  $\text{NaOH}$  0,5 M dan 125 mL  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  0,5 M?
- Jika 100 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M dicampurkan dengan 25 mL  $\text{HCl}$  0,1 M, berapakah pH campuran?
- Berapakah pH larutan hasil pencampuran dari 100 mL  $\text{HCl}$  0,5 M dan 50 mL  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  0,75M?
- Berapakah pH larutan jika 10 g  $\text{NaOH}$  dilarutkan ke dalam 250 mL  $\text{HCl}$  0,5M?

## B. Titrasi Asam Basa

Titration adalah suatu metode untuk menentukan konsentrasi zat di dalam larutan. Titrasi dilakukan dengan cara mereaksikan larutan tersebut dengan larutan yang sudah diketahui konsentrasinya. Reaksi dilakukan secara bertahap (tetes demi tetes) hingga tepat mencapai titik stoikiometri atau titik setara. Ada beberapa macam titrasi bergantung pada jenis reaksinya, seperti titrasi asam basa, titrasi permanganometri, titrasi argentometri, dan titrasi iodometri. Pada topik berikut akan diuraikan mengenai titrasi asam basa.

### 1. Indikator Asam Basa

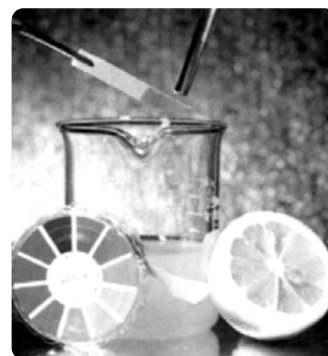
Dalam titrasi asam basa, zat-zat yang bereaksi umumnya tidak berwarna sehingga Anda tidak tahu kapan titik stoikiometri tercapai. Misalnya, larutan  $\text{HCl}$  dan larutan  $\text{NaOH}$ , keduanya tidak berwarna dan setelah bereaksi, larutan  $\text{NaCl}$  yang terbentuk juga tidak berwarna.

Untuk menandai bahwa titik setara pada titrasi telah dicapai digunakan indikator atau penunjuk. Indikator ini harus berubah warna pada saat titik setara tercapai.

Apakah indikator asam basa itu? Indikator asam basa adalah petunjuk tentang perubahan pH dari suatu larutan asam atau basa. Indikator bekerja berdasarkan perubahan warna indikator pada rentang pH tertentu.

Anda tentu mengenal kertas lakmus, yaitu salah satu indikator asam basa. Lakmus merah berubah warna menjadi biru jika dicelupkan ke dalam larutan basa. Lakmus biru berubah menjadi merah jika dicelupkan ke dalam larutan asam.

Terdapat beberapa indikator yang memiliki trayek perubahan warna cukup akurat akibat pH larutan berubah, seperti indikator metil jingga, metil merah, fenolftalein, alizarin kuning, dan brom timol biru. Untuk mengetahui pada pH berapa suatu indikator berubah warna (trayek pH indikator), Anda dapat melakukan percobaan berikut.



Sumber: Sougou Kagashi

Gambar 7.4

Indikator universal dipakai pada pengukuran pH air jeruk.



### Aktivitas Kimia 7.3

#### Perubahan Warna Indikator

##### Tujuan

Mengamati pH suatu indikator berubah warna.

##### Alat

Tabung reaksi

##### Bahan

1. Indikator
2. Larutan asam
3. Larutan basa
4. Larutan netral

##### Langkah Kerja

1. Isilah 14 tabung reaksi dengan larutan pH = 1 sampai pH = 14.
2. Tambahkan 1 tetes indikator (setiap kelompok kerja menggunakan indikator yang berbeda).
3. Amatilah perubahan warna pada larutan dan catatlah pada pH berapa indikator tersebut berubah warna.

##### Pertanyaan

1. Pada pH berapakah indikator yang Anda gunakan berubah warna?
2. Mengapa suatu indikator akan berubah warna pada pH yang tertentu saja?

### Catatan Note

Kertas lakmus memiliki trayek pH kurang akurat dibandingkan indikator lain. Trayek pH dari kertas lakmus sekitar pH 5 - 9.

pH range of litmus paper is less accurate compare to other indicators. pH range of litmus paper is 5 - 9.

Data hasil percobaan ditabulasikan ke dalam bentuk tabel seperti berikut.

Tabel 7.2 Warna pH Hasil Percobaan dengan Beberapa Indikator

Indikator	arna pada pH Rendah	Trayek pH	arna pada pH Tinggi
Brom fenol biru	Kuning	4 - 5,5	Biru
Brom timol biru	Kuning	6 - 8	Biru
Fenolftalein	Takberwarna	8,5 - 10	Merah jambu
Alizarin kuning	Kuning	10 - 12	Merah

Sumber: General Chemistry, 1990

Indikator asam basa umumnya berupa molekul organik yang bersifat asam lemah dengan rumus HIn. Indikator memberikan warna tertentu ketika ion  $H^+$  dari larutan asam terikat pada molekul HIn dan berbeda warna ketika ion  $H^+$  dilepaskan dari molekul HIn menjadi  $In^-$ .

Salah satu indikator asam basa adalah fenolftalein (PP), indikator ini banyak digunakan karena harganya murah. Indikator PP tidak berwarna dalam bentuk HIn (asam) dan berwarna merah jambu dalam bentuk  $In^-$  (basa). Perhatikan struktur fenolftalein berikut.

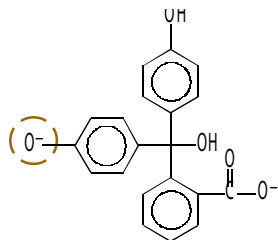
1	→	Air aki
2	→	Jus lemon
3	→	Cuka
4	→	Air soda
5	→	Air hujan
6	→	Susu
7	→	Larutan NaCl
8	→	Pasta gigi
9	→	Air laut
10	→	Air kapur
11	→	Pemutih kain

Trayek pH beberapa larutan.

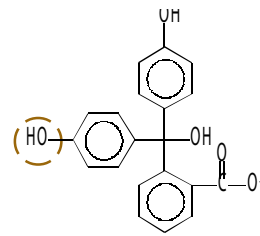


Sumber: www.agri.gov

**Gambar 7.5**  
Bunga sepatu dapat dijadikan sebagai indikator asam basa.

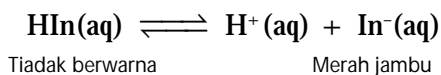


Bentuk asam (HIn), tidak berwarna



Bentuk basa (In<sup>-</sup>), merah jambu

Untuk mengetahui bagaimana indikator bekerja, perhatikan reaksi kesetimbangan berikut yang menyatakan indikator HIn sebagai asam lemah dengan  $K_a = 1,0 \times 10^{-8}$ .



Tidak berwarna

Merah jambu

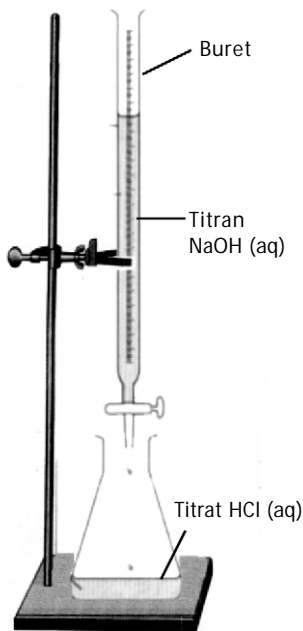
$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \text{ atau } \frac{K_a}{[\text{H}^+]} = \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]}$$

Jika ke dalam larutan ditetesi indikator pada  $\text{pH} = 3$  atau  $[\text{H}^+] = 1,0 \times 10^{-3} \text{ M}$ , dihasilkan perbandingan:

$$\frac{K_a}{[\text{H}^+]} = \frac{1,0 \times 10^{-8}}{1,0 \times 10^{-3}} = 10^{-5} = \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} = \frac{1}{100.000}$$

Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa struktur yang lebih dominan adalah bentuk HIn (tidak berwarna).

Jika ion  $\text{OH}^-$  (basa) ditambahkan ke dalam larutan,  $[\text{H}^+]$  berkurang dan posisi kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan  $\text{In}^-$ . Ini berarti mengubah HIn menjadi  $\text{In}^-$ . Jika ion  $\text{OH}^-$  ditambahkan terus, bentuk  $\text{In}^-$  dominan dan larutan berwarna merah jambu.



**Gambar 7.6**  
Set alat untuk titrasi asam basa

## 2. Titrasi Asam Basa

Dalam melakukan titrasi, larutan yang dititrasi, disebut titrat dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer (biasanya larutan asam), sedangkan larutan pentitrasi, disebut titran (biasanya larutan basa) dimasukkan ke dalam buret. Titran dituangkan dari buret tetes demi tetes ke dalam larutan titrat sampai titik stoikiometri tercapai (lihat Gambar 7.6).

Oleh karena kemampuan mata kita terbatas dalam mengamati warna larutan maka penggunaan indikator dalam titrasi asam basa selalu mengandung risiko kesalahan. Jika indikator PP digunakan pada titrasi HCl–NaOH maka pada saat titik setara tercapai ( $\text{pH} = 7$ ) indikator PP belum berubah warna dan akan berubah warna ketika  $\text{pH} = 8$ .

Jadi, ada kesalahan titrasi yang tidak dapat dihindari sehingga pada waktu Anda menghentikan titrasi (titik akhir titrasi) ditandai dengan warna larutan agak merah jambu, adapun titik setara sudah dilampaui. Dengan kata lain, titik akhir titrasi tidak sama dengan titik stoikiometri.

Jika dalam titrasi HCl–NaOH menggunakan indikator brom timol biru (BTB), dimana trayek  $\text{pH}$  indikator ini adalah 6 (kuning) dan 8 (biru) maka pada saat titik setara tercapai ( $\text{pH} = 7$ ) warna larutan campuran menjadi hijau. Kekurangan yang utama dari indikator BTB adalah mengamati warna hijau tepat pada  $\text{pH} = 7$  sangat sukar, mungkin lebih atau kurang dari 7.

Alat yang diperlukan untuk titrasi, di antaranya buret, labu erlenmeyer, statif, dan pipet volume. Lakukanlah kegiatan berikut.



## Aktivitas Kimia 7.4

### Titrasi Asam Basa

#### Tujuan

Menentukan konsentrasi asam (HCl) dengan cara titrasi asam basa.

#### Alat

1. Buret
2. Statif
3. Erlenmeyer
4. Pipet volume

#### Bahan

1. Larutan HCl
2. Larutan NaOH 0,1 M
3. Indikator fenoftalein

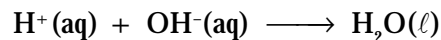
#### Langkah Kerja

1. Masukkan larutan NaOH 0,1 M ke dalam buret sampai volumenya terukur.
2. Pipet 10 mL larutan HCl, kemudian masukkan ke dalam labu erlenmeyer. Tambahkan 2 tetes indikator fenolftalein.
3. Lakukan titrasi dengan cara memasukkan larutan NaOH dari buret ke dalam labu erlenmeyer setetes demi setetes.
4. Hentikan titrasi ketika campuran dalam labu erlenmeyer akan berubah warna (hampir merah muda).
5. Lakukan percobaan tiga kali (triplo). Hitung rata-rata volume NaOH yang diperlukan untuk menetralkan larutan HCl.

#### Pertanyaan

1. Mengapa titrasi harus dihentikan ketika campuran berubah warna?
2. Jika volume NaOH yang diperlukan 10 mL, berapakah konsentrasi HCl yang dititrasi?
3. Diskusikan hasil pengamatan percobaan ini dengan teman-teman Anda.

Titrasi asam basa pada dasarnya adalah reaksi penetralan asam oleh basa atau sebaliknya. Persamaan ion bersihnya:



Ketika campuran berubah warna, itu menunjukkan ion  $\text{H}^+$  dalam larutan HCl telah dinetralkan seluruhnya oleh ion  $\text{OH}^-$  dari NaOH. Jika larutan NaOH ditambahkan terus, dalam campuran akan kelebihan ion  $\text{OH}^-$  (ditunjukkan oleh warna larutan merah jambu).

Berikut akan dibahas cara perhitungan titrasi asam kuat oleh basa kuat, misalnya 50 mL larutan HCl 0,1 M oleh NaOH 0,1 M. Kemudian, menghitung pH larutan pada titik-titik tertentu selama titrasi.

a. Sebelum NaOH Ditambahkan

HCl adalah asam kuat dan di dalam air terionisasi sempurna sehingga larutan mengandung spesi utama:  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Nilai pH ditentukan oleh jumlah  $\text{H}^+$  dari HCl. Karena konsentrasi awal HCl 0,1 M, larutan HCl tersebut mengandung 0,1 M  $\text{H}^+$  dengan nilai  $\text{pH} = 1$  (Gambar 7.8).

b. Penambahan 10 mL NaOH 0,1 M

Dengan penambahan NaOH, berarti menetralkan ion  $\text{H}^+$  oleh ion  $\text{OH}^-$  sehingga konsentrasi ion  $\text{H}^+$  berkurang.

Dalam campuran reaksi, sebanyak ( $10 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} = 1 \text{ mmol}$ )  $\text{OH}^-$  yang ditambahkan bereaksi dengan 1 mmol  $\text{H}^+$  membentuk  $\text{H}_2\text{O}$ .

## Kata Kunci

- Titrasi asam basa
- Indikator asam basa
- Titik ekuivalen/titik stoikiometri
- Titik akhir titrasi



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 7.7

Cara melakukan titrasi (tangan kanan menggoyangkan labu, tangan kiri memegang kran buret).

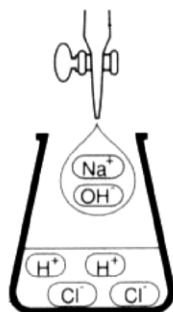
## Catatan Note



Titik akhir titrasi terjadi ketika indikator berubah warna.

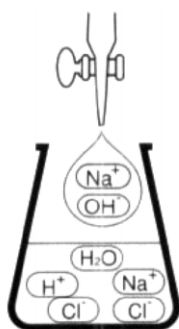
The end point of titration occurs when the indicator changes color.





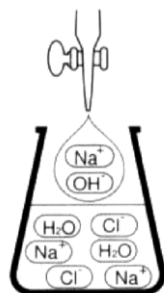
Gambar 7.8

Sebelum NaOH ditambahkan, dalam larutan hanya ada ion H<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup>.



Gambar 7.9

Penambahan NaOH belum dapat menetralkan semua ion H<sup>+</sup> dalam larutan HCl.



Gambar 7.10

Semua ion H<sup>+</sup> dapat dinetralkan oleh ion OH<sup>-</sup> (titik ekuivalen).

Tabel 7.3 Pengaruh Penambahan OH<sup>-</sup> terhadap Konsentrasi H<sup>+</sup>

Konsentrasi (M)	H (aq)	Penambahan OH <sup>-</sup> (aq)
Sebelum reaksi	50 mL × 0,1 M = 5 mmol	10 mL × 0,1 M = 1 mmol
Setelah reaksi	(5 - 1) mmol = 4 mmol	(1 - 1) mmol = 0

Setelah terjadi reaksi, larutan mengandung: H<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, dan H<sub>2</sub>O. Nilai pH ditentukan oleh [H<sup>+</sup>] sisa:

$$[H^+] = \frac{\text{mmol H}^+ \text{ sisa}}{\text{volumelarutan}} = \frac{4 \text{ mmol}}{(50+10)} = 0,07 \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log (0,07) = 1,18.$$

c. Penambahan 10 mL NaOH 0,1 M Berikutnya

Pada penambahan 10 mL NaOH 0,1 M berikutnya akan terjadi perubahan konsentrasi pada H<sup>+</sup> (Gambar 7.9). Perhatikan tabel berikut.

Tabel 7.4 Pengaruh Penambahan OH<sup>-</sup> Berikutnya terhadap Konsentrasi H<sup>+</sup>

Konsentrasi (M)	H (aq)	Penambahan OH <sup>-</sup> (aq)
Sebelum reaksi	4 mmol (sisa sebelumnya)	10 mL × 0,1 M = 1 mmol
Setelah reaksi	(4 - 1) mmol = 3 mmol	(1 - 1) mmol = 0

Setelah terjadi reaksi, nilai pH ditentukan oleh [H<sup>+</sup>] sisa:

$$[H^+] = \frac{3 \text{ mmol}}{(60+10) \text{ mL}} = 0,04 \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log (0,04) = 1,37.$$

d. Penambahan NaOH 0,1 M Sampai 50 mL

Pada titik ini, jumlah NaOH yang ditambahkan adalah 50 mL × 0,1 M = 5 mmol dan jumlah HCl total adalah 50 mL × 0,1 M = 5 mmol. Jadi, pada titik ini ion H<sup>+</sup> tepat dinetralkan oleh ion OH<sup>-</sup>.

Titik dimana terjadi netralisasi secara tepat dinamakan titik stoikiometri atau titik ekuivalen. Pada titik ini, spesi utama yang terdapat dalam larutan adalah Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, dan H<sub>2</sub>O. Karena Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup> tidak memiliki sifat asam atau basa, larutan bersifat netral atau memiliki nilai pH = 7 (Gambar 7.10).

e. Penambahan NaOH 0,1 M Berlebih (sampai 75 mL)

Penambahan NaOH 0,1 M berlebih menyebabkan pH pada larutan menjadi basa karena lebih banyak konsentrasi OH<sup>-</sup> dibandingkan H<sup>+</sup>. Perhatikan tabel berikut.

Tabel 7.5 Pengaruh Penambahan OH<sup>-</sup> Berlebih terhadap Konsentrasi Larutan

Konsentrasi (M)	H (aq)	Penambahan OH <sup>-</sup> (aq)
Sebelum reaksi	5 mmol (jumlah awal)	75 mL × 0,1 M = 7,5 mmol
Setelah reaksi	0	(7,5 - 5) mmol = 2,5 mmol

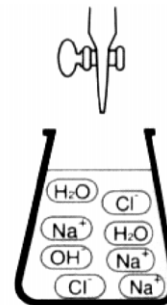
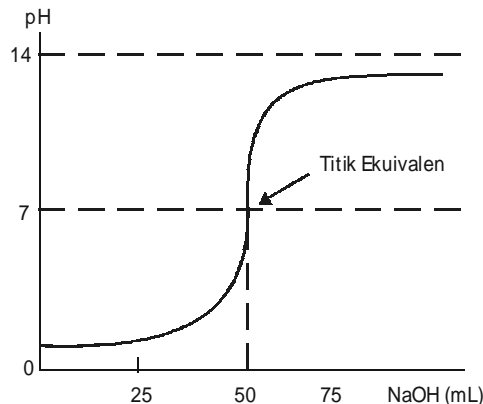
Setelah bereaksi, ion OH<sup>-</sup> yang ditambahkan berlebih sehingga dapat menentukan pH larutan.

$$[\text{OH}^-] = \frac{\text{mmol OH}^- \text{ berlebih}}{\text{volume larutan}} = \frac{2,5 \text{ mmol}}{(50+75) \text{ mL}} = 0,02 \text{ M}$$

$$\text{pOH} = -\log(0,02) = 1,7$$

$$\text{pH larutan} = 14 - \text{pOH} = 12,3$$

NaOH (mL)	pH
0	1,00
10	1,18
20	1,37
30	1,60
40	1,95
45	2,28
48	3,70
50	7,00
52	10,29
55	11,68
60	11,96
70	12,22
80	12,36
90	12,46
100	12,52



Gambar 7.11

Penambahan NaOH setelah titik setara mengubah pH sangat drastis.

Gambar 7.12

Tabel dan kurva penambahan konsentrasi NaOH terhadap pH larutan.

Hasil perhitungan selanjutnya disusun ke dalam bentuk kurva yang menyatakan penambahan konsentrasi NaOH terhadap pH larutan seperti ditunjukkan pada Gambar 7.12. Pada mulanya perubahan pH sangat lamban, tetapi ketika mendekati titik ekuivalen perubahannya drastis. Gejala ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada awal titrasi, terdapat sejumlah besar  $\text{H}^+$  dalam larutan. Pada penambahan sedikit ion  $\text{OH}^-$ , pH berubah sedikit, tetapi mendekati titik ekuivalen, konsentrasi  $\text{H}^+$  relatif sedikit sehingga penambahan sejumlah kecil  $\text{OH}^-$  dapat mengubah pH yang sangat besar.

Kurva pH titrasi asam-basa memiliki ciri:

- (1) Bentuk kurva selalu berupa sigmoid
- (2) Pada titik setara, pH sama dengan 7.
- (3) Ketika mendekati titik ekuivalen, bentuk kurva tajam.

Titik akhir titrasi dapat sama atau berbeda dengan titik ekuivalen bergantung pada indikator yang digunakan. Jika indikator yang dipakai memiliki trayek pH 6–8 (indikator BTB), mungkin titik akhir titrasi sama dengan titik ekuivalen.

Titik akhir titrasi adalah saat titrasi dihentikan ketika campuran tepat berubah warna. Pada umumnya, pH pada titik akhir titrasi lebih besar dari pH titik ekuivalen sebab pada saat titik ekuivalen tercapai, larutan belum berubah warna apabila indikator yang digunakan adalah fenolftalein.

### Kegiatan Inkuiri



Dapatkah titrasi dilakukan secara terbalik: HCl dalam buret, NaOH dalam labu erlenmeyer? Jika dapat, gambarkan kurva titrasinya secara kasar.



### Sekilas Kimia

Johannes Nicolas Bronsted  
(1879–1947)



Sumber: dbhs.wvusd.k12.ca.us

Johannes Nicolas Bronsted adalah anak dari seorang insinyur teknik sipil. Bronsted meraih sarjana di bidang Teknik Kimia pada 1899 dan Doktor Kimia dari Copenhagen University pada 1908. Pada 1923, Bronsted mengemukakan teori asam basa berdasarkan transfer proton (ion  $\text{H}^+$ ).

## Contoh 7.6

### Menghitung pH Titrasi Asam Basa

Sebanyak 25 mL larutan HCl 0,1 M dititrasi dengan NaOH 0,1 M. Hitung pH larutan:

- sebelum penambahan NaOH
- setelah penambahan NaOH 25 mL

Jawab:

- Nilai pH ditentukan oleh jumlah  $H^+$  dari HCl. Konsentrasi awal HCl = 0,1 M maka larutan akan mengandung 0,1 M  $H^+$ .  
 $[H^+] = 0,1 \text{ M}$  dan  $pH = 1$ .
- Jumlah NaOH yang ditambahkan adalah  
 $25 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} = 2,5 \text{ mmol}$ .  
Jumlah asam klorida mula-mula adalah  
 $25 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} = 2,5 \text{ mmol}$ .  
Ion  $OH^-$  yang ditambahkan bereaksi tepat dengan  $H^+$ , saat  $[H^+] = [OH^-]$ . Pada titik ini dinamakan titik ekuivalen titrasi.  
Pada titik ekuivalen, konsentrasi  $H^+$  yang terdapat dalam larutan hanya berasal dari ionisasi air. Jadi,  $pH = 7$ .

## Tes Kompetensi Subbab B

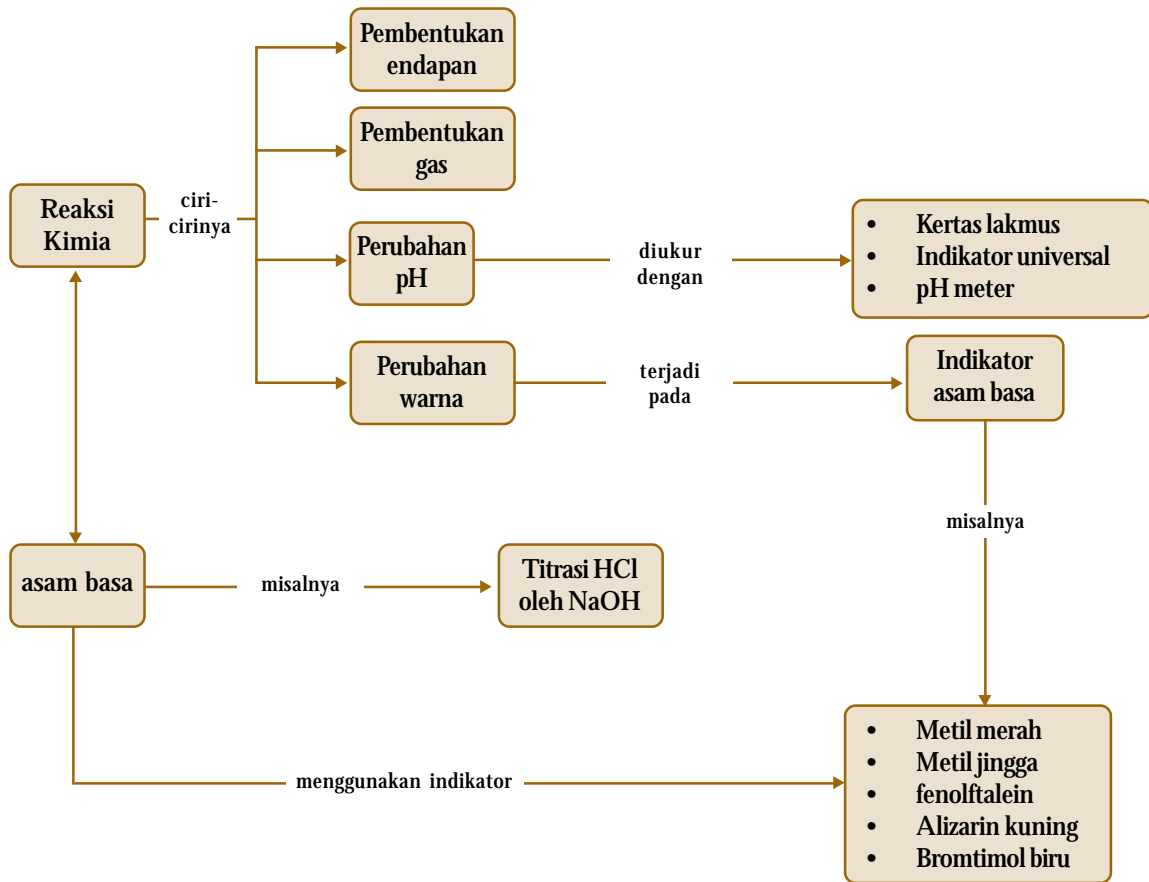
Kerjakanlah dalam buku latihan.

- Pada trayek pH berapakah indikator berikut berubah warna: metil jingga, fenolftalein, dan brom timol biru?
- Mengapa titrasi harus dihentikan ketika campuran berubah warna?
- Seorang siswa melakukan titrasi 25 mL HCl 0,25 M dengan larutan NaOH 0,1 M.
  - Berapakah volume NaOH yang diperlukan untuk mencapai titik ekuivalen?
  - Berapakah pH campuran pada saat larutan NaOH ditambahkan sebanyak 0 mL, 10 mL, 25 mL, 30 mL, dan 50 mL?
  - Jika bromtimol biru (BTB) dipakai sebagai indikator dalam titrasi, bagaimanakah perubahan warna dari asam ke basa dan warna pada saat titik ekuivalen?

## Rangkuman

- Stoikiometri larutan melibatkan konsep mol dalam menentukan konsentrasi zat-zat di dalam larutan.
- Reaksi asam dan basa merupakan reaksi penetralan ion  $H^+$  oleh  $OH^-$ . Reaksi asam basa juga dinamakan reaksi penggaraman.
- Indikator asam basa adalah asam-asam lemah organik yang dapat berubah warna pada rentang pH tertentu.
- Rentang pH pada saat indikator berubah warna dinamakan trayek pH indikator.
- Titrasi asam basa adalah suatu teknik untuk menentukan konsentrasi asam atau basa dengan cara titrasi.
- Titik setara atau titik stoikiometri adalah titik pada saat titrasi, asam dan basa tepat ternetralkan. Titik akhir titrasi dapat sama atau berbeda dengan titik setara.

## Peta Konsep



## Refleksi

Pada bab ini, Anda telah memahami reaksi-reaksi dalam larutan dan dapat memperkirakan hasil reaksi yang terjadi melalui pengamatan secara teoritis. Anda juga telah mengetahui perhitungan kimia suatu reaksi dalam larutan dengan menggunakan konsep mol, konsentrasi, dan volume larutan. Dengan merancang dan melakukan

percobaan titrasi asam basa, Anda dapat menghitung konsentrasi asam atau basa melalui reaksi penetralan. Kemudian, mengkomunikasikan hasil percobaan Anda dalam bentuk laporan.

Menurut Anda, apa manfaat lainnya dari mempelajari stoikiometri larutan dan titrasi asam basa ini?

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.

- Larutan HCl direaksikan dengan larutan NaOH membentuk garam dan air. Persamaan ionnya adalah ....
  - $\text{HCl} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
  - $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$
  - $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$
  - $\text{Cl}^- + \text{Na}^+ \longrightarrow \text{NaCl}$
  - $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Na}(\text{H}_2\text{O}) + \text{OH}^-$
- Persamaan reaksi berikut merupakan persamaan ion bersih, kecuali
  - $\text{Ca}(\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g})$
  - $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
  - $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\ell)$
  - $\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{NaCl}(\text{aq})$
  - $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \longrightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$
- Di antara persamaan reaksi berikut yang akan membentuk endapan adalah ....
  - $\text{Ca}(\text{s}) + \text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow$
  - $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow$
  - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow$
  - $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow$
  - $\text{Cu}_2\text{O}(\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \longrightarrow$
- Jika 27 g aluminium ( $A_r = 27$ ) dimasukkan ke dalam 1 liter larutan  $\text{CuSO}_4$  1,5 M, berat tembaga yang akan diendapkan sebanyak .... ( $A_r \text{ Cu} = 64$ )
  - 16 g
  - 64 g
  - 96 g
  - 32 g
  - 128 g
- UMPTN 2000/C:  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$  ditambahkan pada 500 mL larutan  $\text{BaCl}_2$  0,2 M sampai terjadi endapan  $\text{BaSO}_4$  ( $M_r = 233$ ) dengan sempurna. Endapan  $\text{BaSO}_4$  yang terbentuk sebanyak ....
  - 68,0 g
  - 34,0 g
  - 23,3 g
  - 46,6 g
  - 11,7 g
- Jika 1 L  $\text{AgNO}_3$  0,1 M direaksikan dengan 5 mL HCl yang massa jenisnya  $0,365 \text{ g mL}^{-1}$  maka gram AgCl yang di endapkan adalah ....
  - 3,540 g
  - 7,175 g
  - 9,350 g
  - 5,275 g
  - 10,245 g
- Aluminium bereaksi dengan asam sulfat menurut persamaan berikut.  
 $2 \text{Al}(\text{s}) + 3 \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{Al}(\text{SO}_4)_3(\text{aq}) + 3 \text{H}_2(\text{g})$   
 Pernyataan yang benar adalah ....
  - $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$  sebagai pereaksi pembatas
  - $\text{Al}(\text{s})$  tepat bereaksi dengan asam sulfat
  - mol  $\text{H}_2(\text{g})$  sama dengan mol  $\text{Al}(\text{s})$
  - mol  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{aq})$  sama dengan mol  $\text{Al}(\text{s})$
  - volume  $\text{H}_2(\text{g})$  yang dihasilkan sebesar 22,4 L
- Sebanyak 0,24 g asam berbasas satu dapat menetralkan 8 mL larutan NaOH. Jika konsentrasi NaOH 0,4 M, massa molekul relatif asam adalah ....
  - $37,5 \text{ g mol}^{-1}$
  - $75 \text{ g mol}^{-1}$
  - $125 \text{ g mol}^{-1}$
  - $62,5 \text{ g mol}^{-1}$
  - $150 \text{ g mol}^{-1}$
- Sebanyak 150 mL NaOH 0,2 M dicampurkan dengan 100 mL NaOH 0,3 M. Konsentrasi  $\text{OH}^-$  dalam larutan adalah ....
  - 0,30 M
  - 0,25 M
  - 0,24 M
  - 0,27 M
  - 0,20 M
- Ebtanas 1996/1997:  
 Menurut persamaan kimia:  
 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2\text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell)$   
 Jika 75 mL larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 M direaksikan dengan 50 mL larutan NaOH 0,2 M maka pada reaksi tersebut yang tersisa adalah ....
  - $2,5 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2\text{SO}_4$
  - $5 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2\text{SO}_4$
  - $2,5 \times 10^{-3} \text{ mol NaOH}$
  - $5 \times 10^{-3} \text{ mol NaOH}$
  - $7,5 \times 10^{-3} \text{ mol NaOH}$
- UMPTN 2000/A:  
 Konsentrasi ion  $\text{H}^+$  yang diperoleh dari mencampurkan 150 mL HCl 0,5 M dan 100 mL HCl 0,3 M adalah ....
  - 0,20 M
  - 0,30 M
  - 0,42 M
  - 0,50 M
  - 0,60 M
- NaOH 0,1 mol dan  $\text{NH}_3$  0,1 mol dilarutkan ke dalam 1 L larutan, pH larutan yang dibuat adalah .... ( $K_b \text{ NH}_3 = 1,8 \times 10^{-5}$ )
  - 14,0
  - 11,1
  - 9,0
  - 13,0
  - 7,6
- Jika 100 mL HCl 0,1M dicampurkan dengan 50 mL HCl 0,04 M maka pH campuran menjadi ....
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
- Jika 50 mL HCl 0,1 M dicampurkan dengan 50 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M ( $K_a = 10^{-5}$ ) maka pH campuran menjadi ....
  - 0,5
  - 2,4
  - 3,5
  - 1,3
  - 4,6

15. Sebanyak 50 mL larutan HCl 0,1 M direaksikan dengan 20 mL larutan NaOH 0,1 M maka pH campuran adalah ....

- A. 1,0                      D. 1,4  
B. 3,5                      E. 11,0  
C. 7,0

16. Tabel berikut menunjukkan nilai pH larutan: P, Q, R, S, T.

Larutan 0 1 M	P	Q	R	S	T
Nilai pH	13	11	9	7	3

Jika dua dari larutan di atas dicampurkan dan campurannya dapat bereaksi dengan logam Mg menghasilkan gas H<sub>2</sub> maka campuran itu adalah ....

- A. R dan S  
B. P dan Q  
C. R dan Q  
D. S dan T  
E. R dan S

17. Suatu senyawa dapat dijadikan indikator untuk titrasi asam basa jika ....

- A. memiliki warna tertentu  
B. dapat berubah menjadi berwarna  
C. pada rentang pH tertentu berubah warna  
D. terionisasi dalam larutan asam atau basa  
E. mengandung asam organik lemah

18. Ebtanas 1996:

Trayek perubahan warna beberapa indikator:

Indikator	arna	Trayek pH
Fenolftalein	Takberwarna–merah	8,3 – 10
Bromtimol biru	Kuning–biru	6,0 – 7,6
Lakmus	Merah–biru	5,5 – 8,0
Metil merah	Merah–kuning	4,4 – 6,2
Metil jingga	Merah–kuning	3,1 – 4,4

Indikator bromtimol biru dan fenolftalein dalam larutan HNO<sub>3</sub> menunjukkan warna berturut-turut ....

- A. biru, kuning  
B. kuning, merah  
C. tidak berwarna, kuning  
D. merah, kuning  
E. kuning, tidak berwarna

19. Perubahan warna dalam keadaan asam, netral, dan basa dari indikator BTB, jika ke dalam larutan HCl ditambahkan larutan NaOH setetes demi setetes adalah ....

- A. biru, kuning, merah  
B. kuning, merah, hijau  
C. tidak berwarna, kuning, biru  
D. kuning, hijau, biru  
E. kuning, tidak berwarna, hijau

20. Indikator yang paling tepat digunakan untuk titrasi HCl 0,1 M oleh NaOH 0,1 M adalah ....

- A. metil merah (rentang pH: 3,5 – 4,8)  
B. brom kresol hijau (rentang pH: 4,6 – 5,8)  
C. bromtimol biru (rentang pH: 6,0 – 8,0)

D. fenolftalein (rentang pH: 8,0 – 10,0)

E. alizarin kuning (rentang pH: 10,0 – 12,5)

21. Ebtanas 1998:

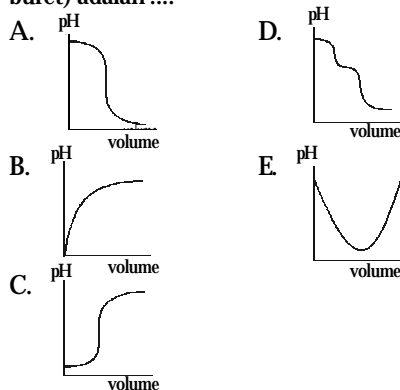
Dari hasil titrasi larutan NaOH 0,1 M dengan larutan HCl 0,15 M:

Larutan	NaOH 0 1 M	HCl 0 15 M
1	2 mL	20 mL
2	8 mL	20 mL
3	15 mL	20 mL
4	25 mL	20 mL
5	30 mL	20 mL

Dari data di atas yang menunjukkan terjadinya titik netralisasi terletak pada percobaan nomor ....

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

22. Grafik berikut yang menunjukkan titrasi larutan HCl 0,1 M (dalam labu) oleh larutan NaOH 0,1M (dalam buret) adalah ....



23. Grafik pada soal nomor 22 di atas yang menunjukkan titrasi larutan NaOH 0,1M (dalam labu) oleh larutan HCl 0,1 M (dalam buret) adalah ....

- A. grafik a                      D. grafik d  
B. grafik b                      E. grafik e  
C. grafik c

24. UMPTN 1996/B:

Jika 20 mL HNO<sub>3</sub> 0,1 M dititrasi dengan larutan natrium hidroksida 0,2 M maka volume basa yang diperlukan untuk mencapai titik stoikiometri adalah ....

- A. 10 mL                      D. 30 mL  
B. 20 mL                      E. 40 mL  
C. 25 mL

25. Jika dalam titrasi HCl–NaOH menggunakan indikator fenolftalein maka titik akhir titrasi berada pada pH sekitar ....

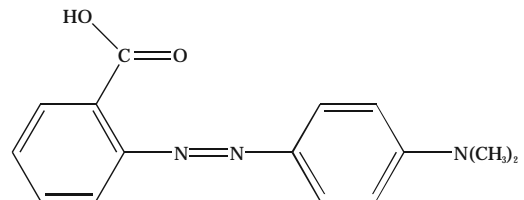
- A. 6,5                              D. 10  
B. 7,0                              E. 11  
C. 8,0



B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.

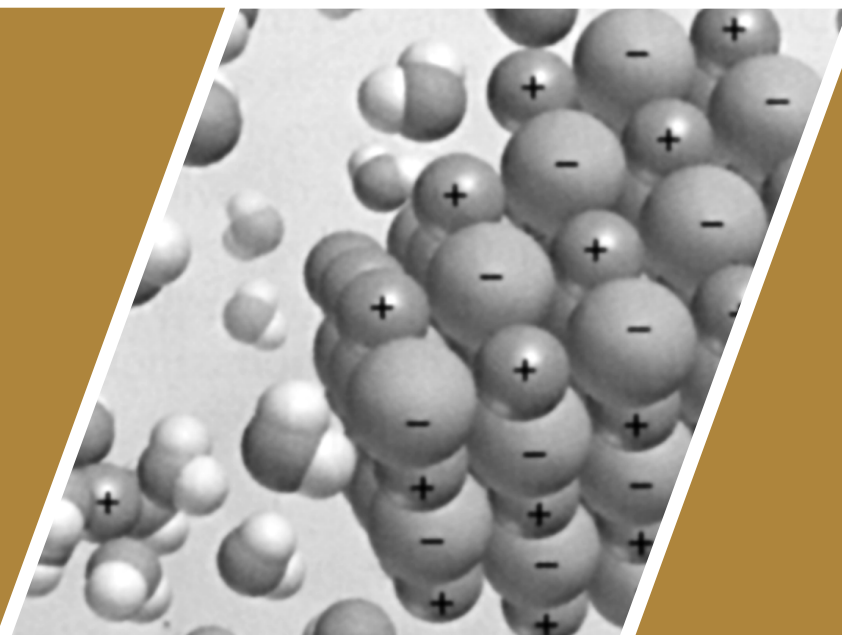
1. Buat sketsa kasar kurva titrasi asam kuat dengan basa kuat. Tentukan pH larutan dengan:
  - a. tanpa penambahan basa;
  - b. titik setengah ekuivalen;
  - c. titik ekuivalen;
  - d. basa berlebih.
2. Sebanyak 50 mL  $\text{HNO}_3$  69,8% ( $\rho = 1,42 \text{ g mL}^{-1}$ ) diencerkan menjadi 19,0% ( $\rho = 1,11 \text{ g mL}^{-1}$ ). Hitung molaritas  $\text{HNO}_3$  pekat dan  $\text{HNO}_3$  encer?
3. Berapakah volume larutan  $\text{HBr}$  0,50 M yang diperlukan agar bereaksi sempurna dengan 0,75 mol  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ?
4. Perhatikan reaksi penetralan asam basa berikut.
  - a. Berapa volume  $\text{HClO}_4$  0,15 M yang diperlukan untuk menetralkan 50 mL larutan  $\text{NaOH}$  0,25 M?
  - b. Jika 25,8 mL  $\text{AgNO}_3$  diperlukan untuk mengendapkan semua ion klorida (dalam 75 mg sampel  $\text{KCl}$ ), berapa kemolaran larutan  $\text{AgNO}_3$ ?
  - c. Berapa volume larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2,5 M yang diperlukan untuk menetralkan 75 g  $\text{NaOH}$ ?
5. Berapakah pH larutan yang mengandung  $\text{HCN}$  1 M ( $K_a = 6,2 \times 10^{-10}$ ) dan  $\text{HNO}_2$  5 M ( $K_a = 4,0 \times 10^{-4}$ )? Hitung konsentrasi ion sianida dalam larutan ini pada keadaan setimbang.

6. Sebanyak 50 mL  $\text{HNO}_3$  0,1 M dititrasi dengan larutan  $\text{NaOH}$  0,1 M. Hitung pH setelah penambahan  $\text{NaOH}$  sebanyak 0,0 mL, 25 mL, 50 mL, dan 75 mL.
7. Definisikan titik ekuivalen dan titik akhir titrasi. Mengapa harus memilih salah satu indikator yang bertepatan di sekitar titik ekuivalen?
8. Metil merah mempunyai struktur:



Perubahan warna terjadi dari merah ke kuning jika larutan kelebihan basa. Hitunglah rentang pH untuk metil merah berubah warna berdasarkan nilai tetapannya.

# Bab 8



Sumber: Chemistry: The Central Science, 2000

Ion-ion dalam larutan

## Keseimbangan Ion-Ion dalam Larutan

### Hasil yang harus Anda capai:

memahami sifat-sifat larutan asam basa, metode pengukuran, dan terapannya.

### Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menggunakan kurva perubahan harga pH pada titrasi asam basa untuk menjelaskan larutan penyangga dan hidrolisis;
- mendeskripsikan sifat larutan penyangga dan peranan larutan penyangga dalam tubuh makhluk hidup;
- menentukan jenis garam yang mengalami hidrolisis dalam air dan pH larutan garam tersebut;
- memprediksi terbentuknya endapan dari suatu reaksi berdasarkan prinsip kelarutan dan hasil kali kelarutan.

Air yang ada di alam, seperti air laut merupakan campuran berbagai macam larutan garam yang dapat memengaruhi pH. Campuran tersebut juga dapat mempertahankan harga pH, walaupun air sungai yang mengalir ke laut bersifat asam atau basa. Mengapa hal tersebut dapat terjadi? Selain itu, ada juga garam-garam yang hampir tidak larut dalam air pada pH tertentu, tetapi dapat larut dalam pH yang berbeda. Sifat-sifat garam seperti ini dapat dimanfaatkan untuk memisahkan garam-garam yang terkandung dalam mineral untuk kepentingan pemisahan logam-logam.

Contoh-contoh di atas terjadi karena adanya proses keseimbangan ion-ion dalam larutan. Apa saja yang dapat memengaruhi keseimbangan larutan? Bagaimanakah pengaruhnya terhadap kelarutan senyawa? Anda akan menemukan jawabannya setelah mempelajari bab ini.

- A. Larutan Asam Basa**
- B. Hidrasi dan Hidrolisis Garam-Garam**
- C. Larutan Penyangga**
- D. Keseimbangan Kelarutan Garam Sukar Larut**

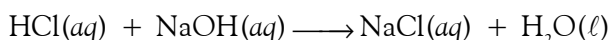
## Tes Kompetensi Awal

1. Apakah yang dimaksud dengan elektrolit kuat dan elektrolit lemah?
2. Apakah yang Anda ketahui tentang larutan asam basa?
3. Menurut Anda apakah yang terjadi jika ke dalam suatu larutan pada sistem kesetimbangan ditambahkan ion senama?

## A. Larutan Asam Basa

Pada bab sebelumnya, Anda sudah belajar tentang titrasi asam kuat dan basa kuat menghasilkan garam yang bersifat netral ( $\text{pH} = 7$ ). Apa yang terjadi jika zat yang dititrasi adalah asam lemah dan basa kuat atau asam kuat dan basa lemah atau asam lemah dan basa lemah? Untuk dapat menjawab masalah ini, Anda perlu memahami konsep hidrolisis dan prinsip larutan penyangga.

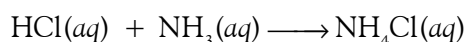
Anda sudah memahami bahwa reaksi asam kuat dan basa kuat akan menghasilkan garam yang bersifat netral. Contoh:



Di dalam air, garam NaCl bersifat netral karena tidak memiliki kemampuan untuk bereaksi dengan air sebagai pelarutnya sehingga konsentrasi molar  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  dalam larutan tidak berubah, masing-masing sebesar  $1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$  (hasil ionisasi air). Perhatikan kurva titrasi pada **Gambar 8.1**.

Dengan demikian, pada titrasi asam kuat dan basa kuat, titik stoikiometri dicapai pada  $\text{pH} = 7$  (netral). Setelah titik setara tercapai, penambahan sedikit basa akan mengubah pH larutan sangat drastis.

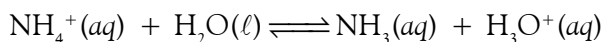
Jika asam lemah dan basa kuat atau asam kuat dan basa lemah direaksikan, garam yang terbentuk memiliki sifat berbeda dengan garam-garam netral seperti NaCl. Contoh:



Garam amonium klorida yang terbentuk bersifat reaktif terhadap air sebagai pelarutnya, khususnya ion  $\text{NH}_4^+$  yang berasal dari basa lemah. Mengapa?

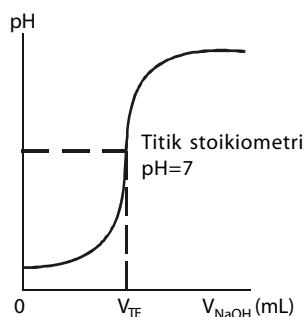
Di dalam larutan,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  berada dalam bentuk ion-ionnya. Jika Anda bandingkan kekuatan asam antara ion  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , mana yang lebih kuat? Lihat kekuatan asam basa konjugat pada **Bab 6**.

Ion  $\text{NH}_4^+$  merupakan asam konjugat yang lebih kuat dari  $\text{H}_2\text{O}$  sehingga ion  $\text{NH}_4^+$  dapat melepaskan proton membentuk  $\text{NH}_3$  dan ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  (**Gambar 8.2**). Persamaan reaksinya:

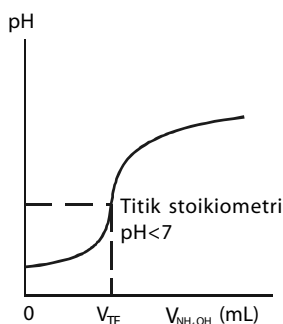


Pada bab sebelumnya, Anda sudah belajar tentang titrasi asam kuat dan basa kuat yaitu reaksi yang menghasilkan air hingga air terurai menjadi ion-ionnya. Oleh karena dalam larutan tersebut kelebihan ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  maka dapat dipastikan larutan bersifat asam. Dengan demikian, jika Anda melakukan titrasi asam kuat oleh basa lemah, titik stoikiometri tidak pada  $\text{pH} = 7$ , tetapi di bawah 7. Setelah titik stoikiometri tercapai, penambahan  $\text{NH}_3$  tetes demi tetes tidak meningkatkan pH larutan secara drastis, sebagaimana pada titrasi HCl dan NaOH, tetapi naik secara perlahan. Mengapa?

Jika ke dalam larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  yang sudah terhidrolisis ditambah lagi  $\text{NH}_3$ , dalam larutan akan terjadi kesetimbangan antara ion  $\text{NH}_4^+$  (dari  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dan  $\text{NH}_3$  dari basa yang ditambahkan. Persamaannya sebagai berikut.



**Gambar 8.1**  
Kurva titrasi HCl-NaOH



**Gambar 8.2**  
Kurva titrasi HCl- $\text{NH}_4\text{OH}$



Sistem reaksi tersebut merupakan kesetimbangan basa lemah dan asam konjugatnya (teori asam basa Bronsted-Lowry). Karena membentuk kesetimbangan maka semua Hukum-Hukum Kesetimbangan berlaku di sini. Akibatnya, penambahan  $\text{NH}_3$  akan bereaksi dengan proton (ion  $\text{H}^+$ ) dan sistem akan menggeser posisi kesetimbangan ke arah kiri.

Dengan demikian, penambahan  $\text{NH}_3$  berlebih dianggap sebagai gangguan dan sistem berupaya meminimalkan gangguan dengan cara menggeser posisi kesetimbangan untuk memperkecil gangguan tersebut. Dampak dari pergeseran posisi kesetimbangan asam basa konjugat adalah kenaikan pH larutan relatif kecil. Inilah alasan mengapa penambahan basa setelah titik stoikiometri tercapai, perubahan pH larutan relatif kecil.

Sistem larutan yang membentuk kesetimbangan antara basa lemah dan asam konjugatnya disebut larutan penyangga. Salah satu sifat penting dari larutan penyangga adalah dapat mempertahankan pH larutan dari gangguan penambahan asam atau basa.



### Catatan Note

Formula dari basa konjugat selalu memiliki jumlah atom H lebih sedikit dan memiliki muatan lebih negatif dibandingkan formula asam konjugatnya.

*The formula of a conjugate base always one fewer hydrogen atom and one more negative charge than the formula of the corresponding acid.*

## Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

Jika asam lemah seperti  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dititrasi oleh basa kuat, misalnya  $\text{NaOH}$ .

(a) Jelaskan peristiwa yang terjadi pada saat titik stoikiometri tercapai.

(b) Apakah pada saat titik stoikiometri tercapai pH sama dengan 7, lebih besar dari 7, atau lebih kecil dari 7? Jelaskan.

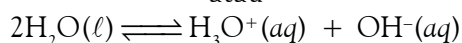
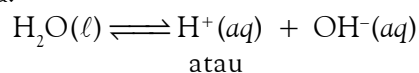
## B. Hidrasi dan Hidrolisis Garam-Garam

Pada pembahasan sebelumnya, Anda sudah diperkenalkan mengenai pengertian hidrolisis, yaitu reaksi dengan air menyebabkan air terionisasi. Suatu zat dikatakan terhidrolisis jika zat tersebut dalam larutannya dapat bereaksi dengan air sehingga air menjadi terionisasi.

### 1. Pengertian Hidrasi dan Hidrolisis

Suatu garam dalam pelarut air terurai membentuk ion-ionnya. Hasil pelarutan garam ini dapat bersifat netral, asam, atau basa. Sifat larutan garam ini bergantung pada sifat-sifat ionnya.

Pelarutan garam dapat memengaruhi keadaan kesetimbangan ionisasi air. Anda sudah mengetahui bahwa air membentuk kesetimbangan dengan ion-ionnya.



Garam-garam yang terlarut di dalam air mungkin terhidrasi atau terhidrolisis. Suatu garam dikatakan terhidrasi di dalam pelarut air jika ion-ionnya dikelilingi oleh molekul air akibat antaraksi dipol antara ion-ion garam dan molekul air. Antaraksi ion-ion garam dan molekul air membentuk kesetimbangan dan tidak memengaruhi pH larutan.

Suatu garam dikatakan terhidrolisis di dalam pelarut air jika ion-ionnya bereaksi dengan molekul air. Reaksi ion-ion garam dan air membentuk kesetimbangan dan memengaruhi pH larutan.

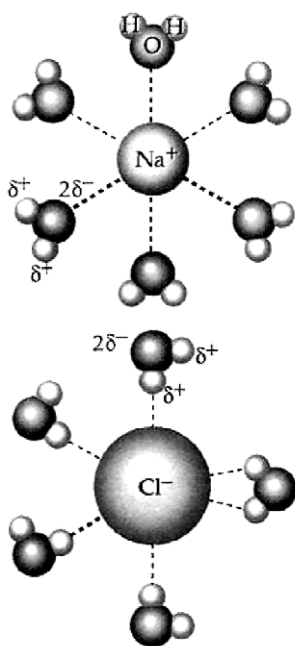
### Kata Kunci

- Hidrasi
- Hidrolisis

## Catatan **Note**

Solvasi adalah proses ion atau molekul dikelilingi oleh pelarutnya. Jika pelarutnya air, dinamakan hidrasi.

*Solvation is the process in which an ion or a molecule is surrounded by solvent molecules. If the solvent is water, it's called hydration.*

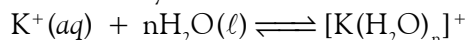


**Gambar 8.3**

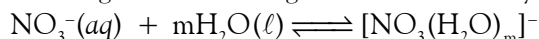
Model hidrasi dari garam NaCl dalam pelarut air.

### a. Hidrasi Kation dan Anion

Hidrasi kation terjadi karena adanya antaraksi antara muatan positif kation dan pasangan elektron bebas dari atom oksigen dalam molekul air. Kation yang dapat dihidrasi adalah kation-kation lemah, seperti ion kalium ( $K^+$ ), yaitu kation yang memiliki ukuran besar dengan muatan listrik rendah. Kation-kation seperti ini berasal dari basa kuat, seperti  $Na^+$ ,  $K^+$ , dan  $Ca^{2+}$ . Contohnya:



Anion-anion yang dihidrasi adalah anion dari asam kuat atau anion yang bersifat basa konjugat sangat lemah. Anion-anion ini dihidrasi melalui antaraksi dengan atom hidrogen dari air. Misalnya:



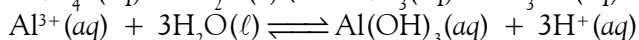
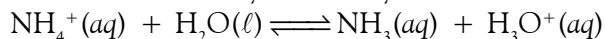
Kation dan anion dari garam-garam yang terhidrasi di dalam air tidak bereaksi dengan molekul air. Oleh karena itu, anion atau kation seperti ini merupakan ion-ion bebas di dalam air (**Gambar 8.3**).

### b. Hidrolisis Kation dan Anion

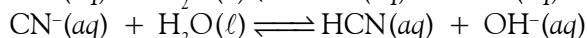
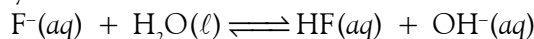
Kation-kation garam yang berasal dari basa lemah di dalam air dapat mengubah larutan menjadi asam. Kation-kation ini merupakan asam konjugat dari basa lemah, seperti  $Al^{3+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $Li^+$ ,  $Be^{2+}$ , dan  $Cu^{2+}$ .

Karena kation-kation tersebut merupakan asam konjugat dari basa lemah maka tingkat keasamannya lebih kuat daripada air. Oleh karenanya, kation-kation ini dapat menarik gugus  $OH^-$  dari molekul air dan meninggalkan sisa proton ( $H^+$ ) sehingga larutan bersifat asam.

Reaksi antara  $H_2O$  dan kation logam membentuk kesetimbangan. Dalam hal ini, molekul  $H_2O$  berperan sebagai basa Lewis atau akseptor proton menurut Bronsted-Lowry. Contohnya:



Anion-anion hasil pelarutan garam yang berasal dari asam lemah dapat mengubah pH larutan menjadi bersifat basa karena bereaksi dengan molekul air. Anion-anion seperti ini merupakan basa konjugat dari asam lemah, yaitu basa yang lebih kuat dibandingkan molekul  $H_2O$ . Karena itu, anion-anion tersebut dapat menarik proton ( $H^+$ ) dari molekul air dan meninggalkan sisa ion  $OH^-$  yang menyebabkan larutan garam bersifat basa. Contohnya:



Semua garam yang anionnya berasal dari asam lemah, seperti  $CH_3COONa$ ,  $KCN$ ,  $NaF$ , dan  $Na_2S$  akan terhidrolisis ketika dilarutkan di dalam air menghasilkan larutan garam yang bersifat basa.

*Reaksi kation atau anion dengan molekul air disebut hidrolisis. Dengan kata lain, hidrolisis adalah reaksi ion dengan air yang menghasilkan basa konjugat dan ion hidronium atau asam konjugat dan ion hidroksida.*

### Contoh 8.1

#### Garam yang Terhidrolisis

Manakah di antara  $NaCl$ ,  $MgCl_2$ , dan  $AlCl_3$  yang jika dilarutkan dalam air akan terhidrolisis?

**Jawab:**

Ion  $\text{Cl}^-$  berasal dari asam kuat atau basa konjugat yang lebih lemah dari air. Oleh karena itu, ion  $\text{Cl}^-$  tidak bereaksi dengan air.

Kation  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  berasal dari basa kuat dan merupakan kation berukuran relatif besar dengan muatan rendah sehingga tidak terhidrolisis.

Ion  $\text{Al}^{3+}$  memiliki ukuran relatif sama dengan  $\text{Mg}^{2+}$ , tetapi muatannya tinggi sehingga dapat bereaksi dengan air. Oleh karena itu, ion  $\text{Al}^{3+}$  terhidrolisis membentuk  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

## 2. Derajat Keasaman Larutan Garam

Semua garam yang larut dalam air akan terurai membentuk ion-ionnya. Karena ion-ion garam dalam air ada yang terhidrolisis maka pelarutan garam-garam di dalam air dapat mengubah pH larutan menjadi bersifat asam atau basa.

### a. Larutan Garam Bersifat Netral

Basa konjugat dari asam kuat tidak memiliki kemampuan menarik proton dari molekul air. Basa konjugat seperti ini merupakan basa-basa yang lebih lemah dari molekul air.

Jika anion seperti  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{NO}_3^-$  berada di dalam air, anion-anion tersebut tidak akan menarik  $\text{H}^+$  dari molekul air sehingga tidak mengubah pH larutan garam. Anion seperti itu hanya terhidrasi.

Kation seperti  $\text{K}^+$  dan  $\text{Na}^+$  merupakan asam konjugat dari basa kuat. Kation seperti ini juga tidak memiliki kemampuan menarik gugus  $\text{OH}^-$  dari air sehingga tidak mengubah pH larutan.

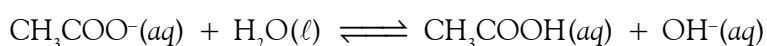
Ion-ion garam yang berasal dari basa kuat dan asam kuat tidak mengubah konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  hasil ionisasi air. Jadi, garam tersebut bersifat netral di dalam larutan atau memiliki  $\text{pH} = 7$ .

### b. Larutan Garam Bersifat Basa

Dalam larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , spesi utamanya adalah ion  $\text{Na}^+$ , ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ , dan molekul  $\text{H}_2\text{O}$ . Ion  $\text{Na}^+$  adalah asam konjugat yang lebih lemah dari air sehingga tidak dapat menarik gugus  $\text{OH}^-$  dari air, tentunya tidak mengubah pH larutan.

Ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  merupakan basa konjugat dari asam lemah atau basa yang lebih kuat dari air sehingga  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dapat menarik proton dari molekul air menghasilkan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dan  $\text{OH}^-$ . Akibatnya, larutan menjadi basa.

Reaksi ion asetat dan air membentuk kesetimbangan, persamaan reaksinya:



Tetapan kesetimbangan untuk reaksi ini adalah

$$K_b = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

Bagaimanakah menentukan nilai  $K_b$  dari ion asetat ( $K_b$   $\text{CH}_3\text{COO}^-$ )? Hal ini dapat ditentukan dari hubungan  $K_a$ ,  $K_b$ , dan  $K_w$ .

Jika persamaan  $K_a$  asam asetat dikalikan dengan persamaan  $K_b$ , ion asetat akan menghasilkan nilai  $K_w$ . Penentuan nilai  $K_b$  di atas sebagai berikut.



## Sekilas Kimia

Thomas Martin Lowry  
(1850–1936)



Sumber: [www.tholt.com](http://www.tholt.com)

Thomas Martin Lowry merupakan kimiawan asal London. Pada 1904, Lowry menjadi kepala Bidang Kimia di Westminster Training College, kemudian menjadi Kepala Departemen Kimia di Guy's Hospital.

Pada 1920, Lowry menjadi Profesor Kimia Fisika pertama di Cambridge University. Lowry bersama-sama dengan Bronsted mengemukakan teori tentang asam basa Bronsted-Lowry.



$$K_a \times K_b = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} \times \frac{[CH_3COOH][OH^-]}{[CH_3COO^-]}$$

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

Jadi, untuk setiap pasangan asam lemah dan basa konjugatnya terdapat hubungan  $K_a$ ,  $K_b$ , dan  $K_w$ :

$$K_w = K_a(\text{asam lemah}) \times K_b(\text{basa konjugatnya})$$

Dengan kata lain, jika  $K_a$  atau  $K_w$  diketahui maka nilai tetapan  $K_b$  dapat ditentukan. Tetapan kesetimbangan untuk ion asetat adalah

$$K_b(\text{CH}_3\text{COO}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{1,0 \times 10^{-14}}{1,8 \times 10^{-5}} = 5,6 \times 10^{-10}$$

Jadi, nilai  $K_b$  untuk ion asetat sebesar  $5,6 \times 10^{-10}$ .

Dengan demikian, untuk setiap garam yang mengandung kation dari basa kuat (seperti,  $\text{Na}^+$  atau  $\text{K}^+$ ) dan anion dari asam lemah akan membentuk larutan bersifat basa. Nilai pH dari larutan garam yang anionnya terhidrolisis dapat ditentukan berdasarkan nilai  $K_b$  basa konjugat dan konsentrasi ion-ion dalam sistem kesetimbangan.



## Mahir Menjawab

Peristiwa hidrolisis terjadi dalam larutan ....

- natrium asetat
- amonium sulfat
- kalium sianida
- amonium asetat
- semua jawaban benar

### Pembahasan

Garam yang mengalami reaksi hidrolisis adalah jenis garam yang mengandung ion sisa asam lemah atau ion sisa basa lemah. Dalam hal ini, natrium asetat, amonium sulfat, kalium sianida, dan amonium asetat merupakan garam yang mengalami reaksi hidrolisis.

Jadi, semua jawaban benar. Jawabannya (E).

SPMB 2002

## Contoh 8.2

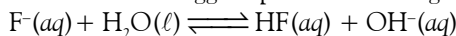
### Perhitungan pH Garam Berasal dari Asam Lemah

Hitunglah pH larutan NaF 0,3 M. Diketahui nilai  $K_a$  HF =  $2 \times 10^{-4}$ .

**Jawab:**

Spesi utama dalam larutan:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ .

Karena  $\text{F}^-$  basa konjugat dari asam lemah HF maka  $\text{F}^-$  merupakan basa yang lebih kuat dari air sehingga dapat bereaksi dengan air. Persamaannya sebagai berikut.



Tetapan kesetimbangan untuk reaksi tersebut:

$$K_b = \frac{[\text{HF}][\text{OH}^-]}{[\text{F}^-]}$$

Nilai  $K_b$  dapat dihitung dari  $K_w$  dan  $K_a$  (HF):

$$K_b = \frac{K_w}{K_a(\text{HF})} = \frac{1,0 \times 10^{-14}}{7,2 \times 10^{-4}} = 1,4 \times 10^{-11}$$

Konsentrasi pada kesetimbangan adalah

Konsentrasi Awal (mol L <sup>-1</sup> )		Konsentrasi Kesetimbangan (mol L <sup>-1</sup> )
$[\text{F}^-]_0 = 0,3$		$[\text{F}^-] = 0,3 - x$
$[\text{HF}]_0 = 0$	$\xrightarrow{xM}$	$[\text{HF}] = x$
$[\text{OH}^-]_0 \approx 0$		$[\text{OH}^-] = x$

$$K_b = 1,4 \times 10^{-11} = \frac{[\text{HF}][\text{OH}^-]}{[\text{F}^-]} = \frac{(x)(x)}{0,3-x} \approx \frac{x^2}{0,3}$$

Nilai  $x \approx 2 \times 10^{-6}$

**Catatan:**

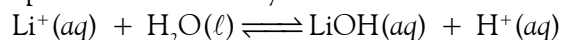
Nilai  $x$  sangat kecil dibandingkan 0,3 maka  $x$  dapat diabaikan dalam penyebut.

Dengan demikian,  
 $[\text{OH}^-] = x = 2 \times 10^{-6} \text{ M}$  atau  $\text{pOH} = 5,69$   
 $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 8,31$   
 Jadi, larutan bersifat basa.

### c. Larutan Garam Bersifat Asam

Beberapa garam menghasilkan larutan asam ketika dilarutkan dalam air. Misalnya, jika garam LiCl dilarutkan dalam air, akan terbentuk ion  $\text{Li}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ .

Ion  $\text{Cl}^-$  tidak memiliki afinitas terhadap proton, melainkan hanya terhidrasi sehingga tidak mengubah pH larutan. Ion  $\text{Li}^+$  adalah asam konjugat dari basa lemah sehingga tingkat keasamannya lebih kuat daripada  $\text{H}_2\text{O}$ . Oleh karena itu, asam tersebut dapat bereaksi dengan air menghasilkan proton. Persamaannya:



Umumnya, garam-garam yang kationnya merupakan asam konjugat dari basa lemah akan membentuk larutan yang bersifat asam. Nilai pH dari larutan garam seperti ini dapat dihitung berdasarkan tetapan kesetimbangan asam konjugatnya.

### Contoh 8.3

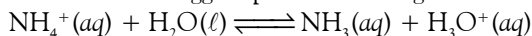
#### Perhitungan pH Garam Berasal dari Basa Lemah

Berapakah pH larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,1 M? Diketahui nilai  $K_b(\text{NH}_3) = 1,8 \times 10^{-5}$ .

**Jawab:**

Spesi utama dalam larutan:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Karena ion  $\text{NH}_4^+$  merupakan asam konjugat dari basa lemah maka ion tersebut lebih asam dari air sehingga dapat bereaksi dengan air dan melepaskan proton. Persamaannya:



Tetapan kesetimbangannya adalah

$$K_a = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

Nilai  $K_a(\text{NH}_4^+)$  dihitung melalui hubungan:

$$K_a(\text{NH}_4^+) = \frac{K_w}{K_b(\text{NH}_3)} = \frac{1,0 \times 10^{-14}}{1,8 \times 10^{-5}}$$

$$K_a(\text{NH}_4^+) = 5,6 \times 10^{-10}$$

Konsentrasi masing-masing spesi yang terdapat dalam keadaan kesetimbangan:

Konsentrasi Awal (mol L <sup>-1</sup> )		Konsentrasi Kesetimbangan (mol L <sup>-1</sup> )
$[\text{NH}_4^+]_0 = 0,1$	$\xrightarrow{x\text{M}}$	$[\text{NH}_4^+] = 0,1 - x$
$[\text{NH}_3]_0 = 0$		$[\text{NH}_3] = x$
$[\text{H}_3\text{O}^+]_0 \approx 0$		$[\text{H}_3\text{O}^+]_0 = x$

Dengan demikian,

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$5,6 \times 10^{-10} = \frac{(x)(x)}{0,1 - x} \approx \frac{x^2}{0,1}$$

$$\text{nilai } x \approx 7,5 \times 10^{-6}$$

Konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dalam larutan adalah

$$[\text{H}^+] = x = 7,5 \times 10^{-6} \text{ M}$$

Oleh karena itu, nilai  $\text{pH} = 5,13$ . Dengan demikian, larutan bersifat asam.

#### d. Larutan Garam Terhidrolisis Total

Selain garam-garam yang telah disebutkan sebelumnya, masih terdapat garam yang kedua ionnya memengaruhi pH larutan, seperti  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  dan  $\text{NH}_4\text{CN}$ . Garam-garam tersebut di dalam air akan terurai membentuk ion-ion yang keduanya terhidrolisis. Oleh karena perhitungan untuk masalah ini sangat kompleks maka di sini hanya akan ditinjau secara kualitatif.

Anda dapat memperkirakan apakah larutan akan bersifat asam, basa, atau netral dengan cara membandingkan nilai  $K_a$  untuk ion asam konjugat terhadap nilai  $K_b$  dari ion basa konjugat. Jika nilai  $K_a$  lebih besar dari nilai  $K_b$ , larutan akan bersifat asam. Sebaliknya, jika nilai  $K_b$  lebih besar dari nilai  $K_a$ , larutan akan bersifat basa. Jika nilai  $K_a$  dan nilai  $K_b$  sama, larutan bersifat netral.

**Tabel 8.1** Nilai pH Larutan Garam Terhidrolisis Total

$K_a > K_b$	pH < 7 (asam)
$K_b > K_a$	pH > 7 (basa)
$K_a = K_b$	pH = 7 (netral)

### Kata Kunci

- Hidrolisis sebagian
- Hidrolisis total
- Asam konjugat
- Basa konjugat

### Contoh 8.4

#### Penentuan Sifat Larutan Garam dari Tetapan Asam Basa

Ramalkan apakah larutan garam berikut bersifat asam, basa, atau netral:

(a)  $\text{NH}_4\text{COOCH}_3$ ; (b)  $\text{NH}_4\text{CN}$ .

**Jawab:**

- a. Spesi utama adalah:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ .  
 Nilai  $K_a(\text{NH}_4^+) = 5,6 \times 10^{-10}$ ;  $K_b(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 5,6 \times 10^{-10}$  (lihat contoh soal sebelumnya).  
 Oleh karena  $K_a(\text{NH}_4^+)$  sama dengan  $K_b(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  maka larutan bersifat netral.
- b. Larutan mengandung ion  $\text{NH}_4^+$  dan ion  $\text{CN}^-$ . Nilai  $K_a(\text{NH}_4^+) = 5,6 \times 10^{-10}$ , dan nilai  $K_b(\text{CN}^-)$  adalah

$$K_b(\text{CN}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{HCN})} = \frac{1,0 \times 10^{-14}}{5,6 \times 10^{-10}} = 1,18 \times 10^{-5}$$

Oleh karena  $K_b(\text{CN}^-)$  lebih besar dari  $K_a(\text{NH}_4^+)$  maka larutan bersifat basa.

### Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Manakah garam-garam berikut yang terhidrolisis di dalam air:  $\text{MgSO}_4$ ;  $\text{CuSO}_4$ ;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ?
2. Apakah ion-ion  $\text{I}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ , dan  $\text{Be}^{2+}$  akan bereaksi dengan air? Tuliskan persamaan reaksinya.
3. Tentukan nilai pH larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,25 M jika diketahui nilai  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \times 10^{-5}$ .
4. Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,01 M dititrisi dengan larutan  $\text{NaOH}$  0,01 M. Berapakah pH pada titik ekuivalen? Indikator apa yang cocok digunakan untuk titrasi ini?  $K_b(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 5,75 \times 10^{-10}$ .
5. Hitung pH larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,25 M jika diketahui nilai  $K_b(\text{NH}_3) = 1,8 \times 10^{-9}$ .
6. Tentukan larutan garam-garam berikut bersifat asam, basa, atau netral: (a)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ; (b)  $\text{LiO}_2\text{CCH}_3$ ; (c)  $\text{MgCl}_2$ .
7. Larutan  $\text{HCl}$  0,01 M dititrisi dengan larutan  $\text{NH}_3$  0,01 M. Berapakah pH pada titik ekuivalen? Diketahui  $K_b(\text{NH}_3) = 1,8 \times 10^{-5}$ .
8. Berapakah pH pada titik setara jika 25 mL piridin 0,1 M dititrisi dengan  $\text{HCl}$  0,10 M? Diketahui  $K_b(\text{piridin}) = 1,7 \times 10^{-9}$ .
9. Ramalkan apakah larutan garam-garam berikut dalam air bersifat asam, basa, atau netral. (a)  $\text{KCl}$ ; (b)  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ ; (c)  $\text{AlBr}_3$ .

## C. Larutan Penyangga

Sebagaimana diuraikan sebelumnya, jika ke dalam larutan garam yang kation atau anionnya terhidrolisis, misalnya larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ditambahkan  $\text{NH}_3$ , maka akan terbentuk kesetimbangan antara ion  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NH}_3$ . Sistem larutan seperti ini dinamakan larutan penyangga. Salah satu sifat penting dari larutan penyangga adalah dapat mempertahankan pH larutan.

### 1. Prinsip Larutan Penyangga

Berdasarkan Teori Asam-Basa Arrhenius, larutan yang mengandung campuran asam lemah dan garam yang anionnya senama dengan asam lemah tersebut akan membentuk larutan penyangga. Contohnya,  $\text{NH}_3\text{COOH}$  dan  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Demikian juga jika larutan mengandung campuran basa lemah dan garam yang kationnya senama dengan basa lemah akan membentuk larutan penyangga. Contohnya,  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

Berdasarkan Teori Asam-Basa Bronsted-Lowry, larutan yang mengandung campuran dari pasangan asam lemah dan basa konjugat atau basa lemah dan asam konjugatnya akan membentuk larutan penyangga. Contoh:

- a.  $\text{NH}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$   
Basa lemah                      Asam konjugat
- b.  $\text{H}_2\text{PO}_4^-(aq) \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-}(aq) + \text{H}^+(aq)$   
Asam lemah                      Basa konjugat

Prinsip larutan penyangga berdasarkan teori asam basa Arrhenius terbatas hanya untuk campuran asam lemah dan garamnya atau basa lemah dan garamnya, sedangkan prinsip berdasarkan Bronsted-Lowry lebih umum, selain asam lemah dan garamnya (contoh a), juga mencakup campuran garam dan garam (contoh b).

Tinjau contoh (b), sistem kesetimbangan asam lemah dan basa konjugatnya dapat berasal dari garam  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  dan  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . Jika kedua garam ini dicampurkan, akan terbentuk larutan penyangga.

Untuk membuktikan prinsip larutan penyangga, Anda dapat melakukan kegiatan berikut.



## Aktivitas Kimia 8.1

### Larutan Penyangga

#### Tujuan

Membuktikan prinsip larutan penyangga.

#### Alat

1. Gelas kimia
2. Batang pengaduk
3. pH meter atau indikator universal
4. Gelas ukur

#### Bahan

1. Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M
2. Larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,5
3. Larutan  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  0,5 M
4. Larutan  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  0,5 M

#### Langkah Kerja

Ke dalam gelas kimia masukkan larutan berikut.

1. 100 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M, ukur pH-nya.
2. 100 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,5 M, ukur pH-nya.



Sumber: [www.petfooddirect.com](http://www.petfooddirect.com)

Gambar 8.4

Amonium hidroksida dapat digunakan untuk membuat larutan penyangga dengan cara mencampurkannya dengan amonium fosfat sebagai garamnya.

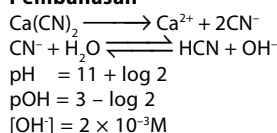


## Mahir Menjawab

Larutan  $\text{Ca}(\text{CN})_2$  memiliki  $\text{pH} = 11 - \log 2$ . Jika  $K_a(\text{HCN}) = 4 \times 10^{-10}$  dan  $M_r \text{Ca}(\text{CN})_2 = 92$ , jumlah  $\text{Ca}(\text{CN})_2$  yang terlarut dalam 500 mL larutan adalah ...

- 3,68 g
- 7,36 g
- 8,45 g
- 14,72 g
- 15,25 g

### Pembahasan



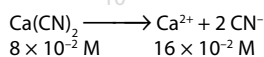
$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_a} [\text{CN}^-]}$$

$$2 \times 10^{-3} = \sqrt{\frac{10^{-14}}{4 \times 10^{-10}} [\text{CN}^-]}$$

$$4 \times 10^{-6} = \frac{10^{-14}}{4 \times 10^{-14}} [\text{CN}^-]$$

$$16 \times 10^{-16} = 10^{-14} [\text{CN}^-]$$

$$[\text{CN}^-] = \frac{16 \times 10^{-16}}{10^{-14}} = 16 \times 10^{-2} \text{ M}$$



$$8 \times 10^{-2} = \frac{1.000}{500} \frac{x}{92}$$

$$x = \frac{8 \times 10^{-2} \cdot 92}{2} = 3,68 \text{ g}$$

Jadi, jawabannya (A).

UNAS 2004

- Campuran 50 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M dan 50 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,5 M. Kocok dan ukur pH-nya.
- 100 mL larutan  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  0,5 M, ukur pH-nya.
- 100 mL larutan  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  0,5 M, ukur pH-nya.
- Campuran 50 mL  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  0,5 M dan 50 mL  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  0,5 M. Kocok dan ukur pH-nya.

### Pertanyaan

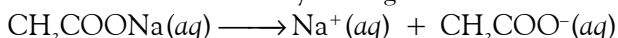
- Berapakah pH masing-masing larutan penyangga?
- Bagaimanakah kestabilan larutan penyangga tersebut?
- Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan ini. Diskusikan dengan teman sekelas Anda.

Pada langkah kerja (3), spesi utama yang terdapat dalam larutan penyangga adalah  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Asam asetat adalah asam lemah dan dalam larutan terionisasi sebagian membentuk kesetimbangan:

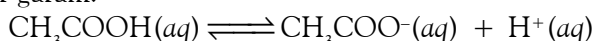


Garam natrium asetat terionisasi sempurna membentuk ion  $\text{Na}^+$  dan ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ . Persamaan reaksinya sebagai berikut.



Konsentrasi ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dari garam lebih banyak dibandingkan dari hasil ionisasi asam asetat. Akibatnya, di dalam larutan, konsentrasi ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  ditentukan oleh konsentrasi garam.

Dengan demikian, konsentrasi ion-ion dalam sistem kesetimbangan ditentukan oleh konsentrasi asam asetat dan konsentrasi ion asetat yang berasal dari garam.

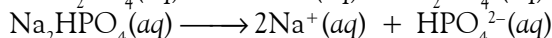


Asam asetat

Ion asetat

Pada langkah kerja (6), spesi utama yang terdapat dalam larutan penyangga adalah:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}^+$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Dalam larutan, garam natrium dihidrogen fosfat dan natrium hidrogen fosfat terionisasi sempurna, persamaan reaksinya sebagai berikut.



Kedua anion tersebut membentuk asam basa konjugat dan berada dalam keadaan kesetimbangan. Oleh karena ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  memiliki tingkat keasaman lebih kuat dibandingkan ion  $\text{HPO}_4^{2-}$  maka  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  berperan sebagai asam dan  $\text{HPO}_4^{2-}$  sebagai basa konjugatnya. Persamaan reaksinya sebagai berikut.



Oleh karena ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  berasal dari garam  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  dan ion  $\text{HPO}_4^{2-}$  dari garam  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  maka konsentrasi ion-ion dalam sistem kesetimbangan ditentukan oleh konsentrasi garam-garamnya.

## 2. Aplikasi Prinsip Larutan Penyangga

Cairan darah dalam tubuh manusia memiliki sifat penyangga karena mampu mengendalikan pH dalam darah. Salah satu fungsi darah adalah membawa oksigen untuk disebarkan ke seluruh sel. Fungsi ini bergantung pada pH darah.

Sel darah merah, khususnya atau hemoglobin bekerja optimal sebagai pembawa oksigen pada pH sekitar 7,4. Jika pH cairan darah berubah maka kerja hemoglobin akan menurun, bahkan kemampuannya akan hilang jika pH cairan darah di atas 10 atau di bawah 5.

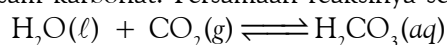
Cairan darah mengandung asam lemah  $\text{H}_2\text{CO}_3$  dan basa konjugatnya:  $\text{HCO}_3^-$  (dari garam  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{KHCO}_3$ ). Kedua spesi ini bertanggung jawab dalam mempertahankan pH cairan darah agar sel darah merah bekerja secara optimal.

Jika seseorang meminum sedikit asam atau basa, seperti air jeruk atau minuman bersoda maka minuman tersebut akan terserap oleh darah. Kemudian, cairan darah akan mempertahankan pH-nya dari gangguan asam atau basa yang dimakan atau diminum seseorang.

Jika cairan darah tidak memiliki sifat penyangga maka akan bersifat asam, yang tentunya mengganggu kinerja darah. Akan tetapi, karena cairan darah memiliki sifat penyangga, penambahan sedikit asam atau basa tidak mengubah pH cairan darah sehingga kinerja darah tetap optimal.

Air laut juga memiliki sifat penyangga yang berasal dari garam-garam dan udara yang terlarut dalam air laut. Di dalam air laut terkandung garam-garam natrium, kalium, magnesium, dan kalsium dengan anion-anion seperti klorida, sulfat, karbonat, dan fosfat.

Sifat penyangga air laut dapat berasal dari  $\text{NaHCO}_3$  dan gas  $\text{CO}_2$  dari udara yang terlarut. Di dalam air laut, gas  $\text{CO}_2$  terlarut dan bereaksi dengan air membentuk asam karbonat. Persamaan reaksinya sebagai berikut.



Oleh karena asam karbonat adalah asam lemah dan dalam air laut terkandung garam natrium hidrogen karbonat maka kedua senyawa itu akan membentuk larutan penyangga, melalui reaksi kesetimbangan:



Konsentrasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$  berasal dari gas  $\text{CO}_2$  terlarut dan konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$  berasal dari garam yang terkandung dalam air laut.

Jika air hujan yang umumnya bersifat asam tumpah ke laut atau air dari sungai-sungai mengalir ke laut dengan berbagai sifat asam dan basa maka sifat asam dan basa itu tidak akan mengubah pH air laut. Dengan kata lain, pH air laut relatif tetap.

### Kegiatan Inkuiri



Buktikan oleh Anda prinsip larutan penyangga dapat memiliki nilai ekonomis. Misalnya, dengan mengidentifikasi label pada salah satu kemasan “jus buah-buahan”. Diketahui nilai pH larutan dalam jus buah-buahan berada pada kisaran asam.

Jika Anda ingin memiliki larutan yang mempunyai nilai pH mulai dari 1 sampai 14 dan tahan lama di laboratorium, Anda dapat membuat larutan-larutan tersebut dari larutan penyangga. Nilai pH larutan penyangga tidak berubah walaupun disimpan dalam kurun waktu yang lama.

### 3. Penentuan pH Larutan Penyangga

Bagaimana membuat larutan penyangga yang memiliki nilai pH tertentu? Anda dapat membuatnya dari campuran asam lemah dan basa konjugat atau dari basa lemah dan asam konjugatnya, dengan tetapan ionisasi asam lemah atau basa lemah mendekati konsentrasi ion  $\text{H}^+$  atau pH yang diharapkan.



## Sekilas Kimia

### Penggunaan Larutan Penyangga dalam Pengembangan Padi Hibrida

Kebutuhan akan pangan terus bertambah seiring dengan peningkatan populasi penduduk. Sementara produksi pangan cenderung tetap. Hal ini terjadi disebabkan terbatasnya lahan produksi yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman pangan. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kapasitas produksi padi nasional. Peningkatan itu dilakukan dengan cara penggunaan bibit unggul dan pemanfaatan lahan-lahan marginal di luar pulau Jawa. Salah satu lahan marginal yang kini sedang diusahakan adalah lahan pasang surut.

Kendala penggunaan lahan pasang surut salah satunya tingkat *keasamannya yang tinggi*. Beberapa teknik budidaya padi hibrida yang diterapkan di lahan pasang surut di antaranya dengan cara penanaman padi tidak terlalu dalam. Kemudian, menambahkan dolomit (basa) untuk *menetralkan pH tanah dan larutan penyangga* untuk mempertahankan pH sekitar 6–7.

Sumber: [www.pu.go.id](http://www.pu.go.id)





## Mahir Menjawab

Suatu larutan penyangga terdiri atas campuran  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,01 M ( $K_a = 10^{-5}$ ) dan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,1 M mempunyai pH sebesar 6.

Perbandingan volume  $\text{CH}_3\text{COOH}$  :  $\text{CH}_3\text{COONa}$  adalah ....

- A. 1 : 1
- B. 1 : 10
- C. 10 : 1
- D. 1 : 100
- E. 100 : 1

### Pembahasan

Misalkan:

volume  $\text{CH}_3\text{COOH} = V_a$

volume  $\text{CH}_3\text{COONa} = V_g$

pH = 6 maka

$[\text{H}^+] = 10^{-6}$  M

$$[\text{H}^+] = K_a \frac{\text{molCH}_3\text{COOH}}{\text{molCH}_3\text{COONa}}$$

$$10^{-6} = 10^{-5} \frac{V_a}{V_g} \quad 0,1$$

$$V_a : V_g = 1 : 1$$

Jadi, jawabannya (A)

UMPTN 2001

Sebagai gambaran, misalnya larutan penyangga dibuat dari asam lemah HA dan basa konjugatnya  $\text{A}^-$ . Persamaan kesetimbangan ionisasi asam adalah:  $\text{HA}(aq) \rightleftharpoons \text{H}^+(aq) + \text{A}^-(aq)$ .

Tetapan ionisasi dari asam lemah HA adalah

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

Dengan menata ulang persamaan, diperoleh persamaan untuk konsentrasi ion  $\text{H}^+$ , yaitu:

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

Persamaan tersebut menyatakan konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dalam bentuk  $K_a$  asam lemah dikalikan dengan perbandingan konsentrasi HA dan  $\text{A}^-$  pada keadaan kesetimbangan. Jika  $[\text{HA}]$  dan  $[\text{A}^-]$  sama maka konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dari larutan penyangga sama dengan nilai  $K_a$ .

Anda dapat menggunakan persamaan di atas untuk menentukan nilai pH larutan penyangga, yaitu:

$$-\log [\text{H}^+] = -\log \left( K_a \times \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} \right) \text{ atau } \text{pH} = -\log K_a - \log \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$$

Ruas kiri persamaan menyatakan pH. Ruas kanan dapat disederhanakan menjadi  $\text{p}K_a$ , dimana  $\text{p}K_a = -\log K_a$ . Jadi, persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut.

$$\text{pH} = \text{p}K_a - \log \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$$

Secara umum, persamaan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\text{pH} = \text{p}K_a - \log \frac{[\text{Asam lemah}]}{[\text{Basa konjugat}]} \quad (\text{berdasarkan teori Bronsted-Lowry})$$

$$\text{pH} = \text{p}K_a - \log \frac{[\text{Asam lemah}]}{[\text{Garam}]} \quad (\text{berdasarkan teori Arrhenius})$$

Untuk larutan penyangga yang dibuat dari basa lemah dan asam konjugatnya, nilai pOH diperoleh dengan cara serupa.

$$\text{pOH} = \text{p}K_b - \log \frac{[\text{Basa lemah}]}{[\text{Asam konjugat}]} \quad (\text{berdasarkan teori Bronsted-Lowry})$$

$$\text{pOH} = \text{p}K_b - \log \frac{[\text{Basa lemah}]}{[\text{Garam}]} \quad (\text{berdasarkan teori Arrhenius})$$

Persamaan ini dikenal sebagai *persamaan Henderson-Hasselbalch*.

Untuk membuat larutan penyangga dengan pH sesuai keinginan, misalnya  $\text{pH} \approx 4,75$ , dapat dilakukan dengan mencampurkan asam lemah yang memiliki nilai  $\text{p}K_a$  sekitar 4,74. Kemudian, dicampurkan dengan garam yang konsentrasi molarnya sama dengan asam lemah agar

$$-\log \frac{[\text{Asam}]}{[\text{Garam}]} = 0 \text{ sehingga } \text{pH} = \text{p}K_a$$



Sumber: Chemistry (McMurry), 2001

Gambar 8.5

Larutan penyangga yang digunakan untuk kalibrasi pH meter.

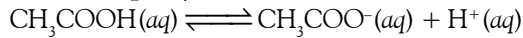
### Contoh 8.5

#### pH Larutan Penyangga dari Asam Lemah dan Garamnya

Berapa pH larutan yang dibuat dari campuran 50 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M dan 50 mL  $\text{NaCH}_3\text{COO}$  0,5 M? Diketahui  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \times 10^{-5}$ .

**Jawab:**

Dalam larutan terdapat:  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{H}^+$ , dan  $\text{Na}^+$ . Reaksi kesetimbangannya:



Konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  lebih dominan dari garam dibandingkan hasil ionisasi asam asetat maka dalam perhitungan, konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  ditentukan dari garamnya.

Konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dalam campuran (100 mL):

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{50 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \times 0,5 \text{ M} = 0,25 \text{ M}$$

Konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  dalam campuran (100 mL):

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \frac{50 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \times 0,5 \text{ M} = 0,25 \text{ M}$$

Nilai pH larutan dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p}K_a - \log \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \\ &= \text{p}K_a - \log \frac{[\text{asam}]}{[\text{garam}]} \\ &= -\log(1,8 \times 10^{-5}) - \log \frac{0,25 \text{ M}}{0,25 \text{ M}} = 4,74 \end{aligned}$$

Jadi, pH larutan penyangga sebesar 4,74. Nilai ini berasal dari nilai  $\text{p}K_a$ .

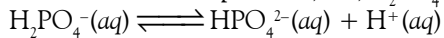
### Contoh 8.6

#### pH Larutan Penyangga dari Campuran Garam

Berapa pH larutan penyangga yang dibuat dari campuran 60 mL  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  0,5 M dan 40 mL  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  0,5 M. Diketahui  $K_a(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 7,5 \times 10^{-3}$ .

**Jawab:**

Dalam larutan terdapat:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , dan  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Reaksi kesetimbangannya:



Oleh karena kedua garam tersebut terionisasi sempurna maka konsentrasi  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan  $\text{HPO}_4^{2-}$  sama dengan konsentrasi garam-garamnya.

Konsentrasi  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dalam campuran (100 mL):

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = \frac{60 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \times 0,5 \text{ M} = 0,3 \text{ M}$$

Konsentrasi  $\text{HPO}_4^{2-}$  dalam volume campuran

$$[\text{HPO}_4^{2-}] = \frac{40 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \times 0,5 \text{ M} = 0,2 \text{ M}$$

Nilai pH larutan

$$\text{pH} = \text{p}K_a - \log \frac{[\text{Asam lemah}]}{[\text{Basa konjugat}]}$$

### Kata Kunci

- Larutan penyangga
- Persamaan Henderson-Hasselbalch
- Pengenceran larutan penyangga

$$= \text{p}K_a - \log \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{HPO}_4^{2-}]}$$

$$= -\log(7,5 \times 10^{-3}) - \log \frac{0,3\text{M}}{0,2\text{M}} = 1,95$$

Jadi, pH larutan = 1,95.

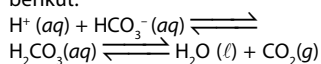


## Sekilas Kimia

### Larutan Penyangga dalam Darah

Darah manusia mempunyai pH normal sekitar 7,35–7,45. Jika pH dalam darah tidak berada dalam keadaan normal maka akan mengganggu kestabilan dari membran sel, struktur protein, dan aktivitas enzim. Kondisi pH darah < 7,35 disebut *asidosis* dan kondisi pH > 7,45 disebut *alkalosis*.

Darah memiliki sistem penyangga untuk mengontrol pH agar pH darah stabil. Larutan penyangga dalam darah mengandung asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) dan ion karbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Dengan persamaan kesetimbangan sebagai berikut.



Sumber: *Chemistry: The Central Science*, 2000



## Aktivitas Kimia 8.2

### Kinerja Larutan Penyangga

#### Tujuan

Mengamati kinerja larutan penyangga.

#### Alat

1. gelas kimia 250 mL
2. pH meter atau indikator universal
3. gelas ukur

#### Bahan

1. 100 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M
2. 100 mL  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,1 M
3. 50 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M
4. 50 mL  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,2 M
5. HCl 0,5 M
6. NaOH 0,5 M

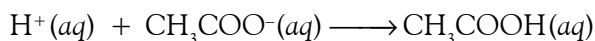
#### Langkah Kerja

1. Sediakan 3 buah gelas kimia 250 mL.
  - a. Gelas kimia 1: 50 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M, ukur pH-nya.
  - b. Gelas kimia 2: 50 mL  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,1 M, ukur pH-nya.
  - c. Gelas kimia 3: 25 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M dan 25 mL larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,2 M. Kocok campuran dan ukur pH-nya.
  - d. Ke dalam larutan tersebut masing-masing tambahkan 1 mL HCl 0,5 M. Kocok dan ukur pH-nya.
2. Ulangi prosedur yang sama sampai langkah (c), kemudian tambahkan 1 mL NaOH 0,5 M. Kocok dan ukur pH-nya.
3. Encerkan larutan (gelas kimia 3) sampai volume 1 liter. Kocok dan ukur pH-nya.

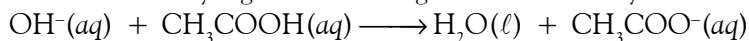
#### Pertanyaan

1. Apakah terjadi perubahan pH pada masing-masing larutan?
2. Bagaimanakah kestabilan pH pada larutan penyangga?
3. Berapakah pH masing-masing larutan sebelum dan sesudah ditambah asam, basa, dan netral?
4. Diskusikan hasil pengamatan dari percobaan ini dengan teman sekelas Anda.

Mengapa larutan penyangga dapat mempertahankan pH jika ditambah sedikit asam atau basa? Tinjau larutan penyangga pada **Aktivitas Kimia 8.2**. Larutan mengandung asam lemah  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dan basa konjugatnya  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ . Jika asam kuat ditambahkan ke dalam larutan penyangga, berarti memasukkan ion  $\text{H}^+$  yang dapat bereaksi dengan basa konjugatnya.



Jika basa kuat ditambahkan ke dalam larutan penyangga, berarti memasukkan ion  $\text{OH}^-$  yang bereaksi dengan asam lemahnya.

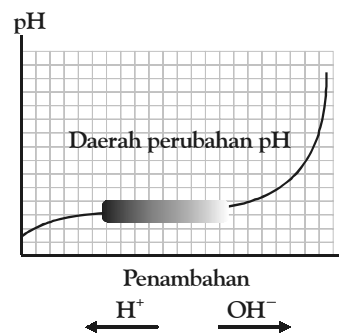


Penambahan  $\text{H}^+$  atau  $\text{OH}^-$  ke dalam larutan penyangga akan menggeser posisi kesetimbangan  $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-$  ke arah pengurangan gangguan sekecil mungkin (*prinsip Le Chatelier*).

Pergeseran posisi kesetimbangan menyebabkan konsentrasi asam lemah dan basa konjugatnya berubah. Jika  $\text{H}^+$  ditambahkan, konsentrasi asam bertambah, sedangkan konsentrasi basa konjugat berkurang. Pada penambahan  $\text{OH}^-$  terjadi sebaliknya.

Perubahan konsentrasi asam lemah dan basa konjugat akibat penambahan  $\text{H}^+$  atau  $\text{OH}^-$  cukup berarti, tetapi pH larutan penyangga relatif tidak berubah sebab pH larutan ditentukan oleh perbandingan  $[\text{asam}]:[\text{basa konjugat}]$ , di samping  $\text{p}K_a$  atau  $\text{p}K_b$ .

**Gambar 8.6** menunjukkan perubahan pH larutan penyangga yang mengandung  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  terhadap penambahan ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$ . pH berkurang sekitar 0,5 satuan jika ditambahkan ion  $\text{H}^+$  atau ion  $\text{OH}^-$  tidak lebih dari 0,5 mol.



**Gambar 8.6**

Pengaruh penambahan asam atau basa ke dalam larutan penyangga ( $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$ )

### a. Penambahan Asam atau Basa Secara Kuantitatif

Ada dua prinsip utama dalam menentukan pH larutan penyangga ketika sejumlah kecil asam atau basa ditambahkan (**Gambar 8.7**), yaitu:

1. Prinsip Stoikiometri: diasumsikan bahwa penambahan asam atau basa bereaksi sempurna dengan ion-ion dalam larutan penyangga.
2. Prinsip kesetimbangan: ion-ion dalam larutan penyangga membentuk kesetimbangan yang baru setelah ditambah sedikit asam atau basa.

#### Contoh kasus:

Berapakah pH larutan penyangga yang dibuat dari  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M dan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,5 M (lihat **Contoh 8.6**) jika ke dalam 100 mL larutan itu ditambahkan  $\text{HCl}$  0,01 mol? Bagaimanakah perubahan pH yang terjadi?

#### Penyelesaian:

Spesi utama yang terdapat dalam larutan adalah:  $\text{H}^+$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ , dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , persamaan reaksi kesetimbangannya:



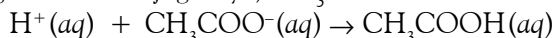
#### Aspek Stoikiometri:

Jumlah mol  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{H}^+$  sebelum penambahan  $\text{HCl}$  adalah

$$\text{CH}_3\text{COOH} = 0,05 \text{ mol}; \text{CH}_3\text{COO}^- = 0,05 \text{ mol}; \text{H}^+ = x \text{ mol.}$$

Setelah  $\text{HCl}$  ditambahkan, jumlah mol  $\text{H}^+$  sama dengan jumlah mol  $\text{HCl}$  yang ditambahkan:  $\text{H}^+ = 0,01 \text{ mol}$  (*hasil ionisasi asam asetat diabaikan*).

Diasumsikan semua ion  $\text{H}^+$  ( $\text{HCl}$ ) yang ditambahkan bereaksi sempurna dengan basa konjugatnya,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ .

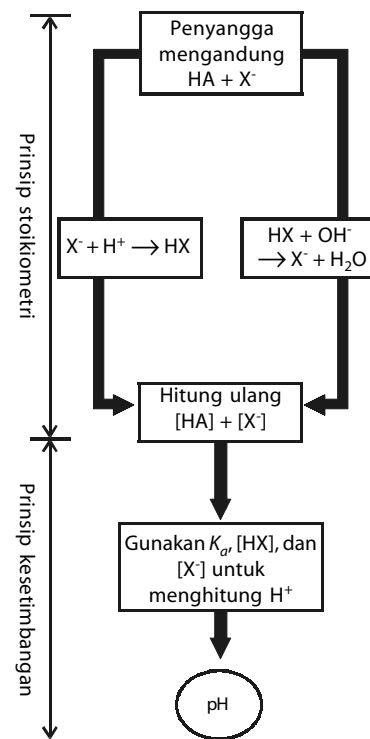


Berdasarkan reaksi ini akan dihasilkan komposisi mol yang baru:

$$\text{CH}_3\text{COOH} = (0,05 + 0,01) \text{ mol} = 0,06 \text{ mol} = 60 \text{ mmol}$$

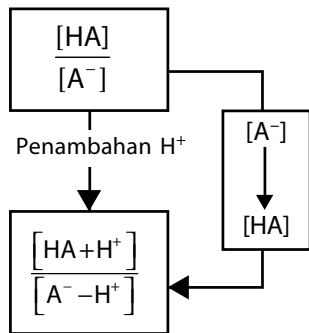
$$\text{CH}_3\text{COO}^- = (0,05 - 0,01) \text{ mol} = 0,04 \text{ mol} = 40 \text{ mmol}$$

$$\text{H}^+ = 0 \text{ mol}$$



**Gambar 8.7**

Dua prinsip utama dalam menentukan pH larutan penyangga setelah asam atau basa ditambahkan.



**Gambar 8.8**  
Prinsip kesetimbangan

### Aspek Kesetimbangan:

Setelah terjadi reaksi antara  $H^+$  (dari HCl) dengan basa konjugat dari larutan penyangga, sistem membentuk kesetimbangan yang baru. Konsentrasi molar sebelum dan sesudah tercapai kesetimbangan yang baru dapat dihitung sebagai berikut.

$$[CH_3COOH]_0 = \frac{60 \text{ mmol}}{100 \text{ mL}} = 0,6 \text{ M}; [CH_3COO^-]_0 = \frac{40 \text{ mmol}}{100 \text{ mL}} = 0,4 \text{ M}$$

Setelah kesetimbangan yang baru tercapai, konsentrasi molar dalam keadaan setimbang adalah sebagai berikut.

Konsentrasi	$[CH_3COOH]$ (M)	$[CH_3COO^-]$ (M)	$[H^+]$ (M)
Awal	0,6	0,4	0
Perubahan	-x	+x	+x
Kesetimbangan	0,6-x	0,4+x	x

Persamaan tetapan ionisasi kesetimbangannya adalah

$$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} \rightarrow 1,8 \times 10^{-5} = \frac{x(0,4+x)}{0,6-x} \approx \frac{x(0,4+x)}{0,6}$$

### Catatan:

Nilai x pada pembilang (0,6-x) relatif kecil sehingga dapat diabaikan.

Penyelesaian terhadap persamaan tersebut, diperoleh nilai  $x = 2,7 \times 10^{-5}$ . Jadi, konsentrasi  $H^+$  setelah penambahan HCl sebesar  $2,7 \times 10^{-5}$  M. Nilai pH larutan penyangga setelah penambahan HCl 0,01 mol:

$$pH = -\log [H^+] = -\log (2,7 \times 10^{-5}) = 4,57.$$

Nilai pH sebelum penambahan HCl = 4,74 (lihat **Contoh 8.5**). Setelah HCl ditambahkan, pH larutan berubah menjadi 4,57 (sekitar 0,17 satuan).

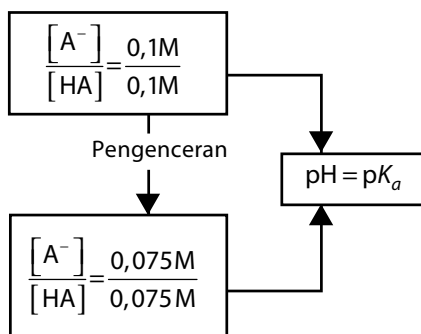
### b. Pengenceran Larutan Penyangga

Mengapa pH larutan penyangga tidak berubah jika diencerkan? Untuk memahami hal ini, dapat ditinjau dari persamaan Henderson-Hasselbalch.

$$pH = pK_a + \log \frac{[\text{Basa konjugat}]}{[\text{Asam lemah}]}$$

Nilai pH larutan penyangga hanya ditentukan oleh  $pK_a$  dan perbandingan konsentrasi molar pasangan asam basa konjugat. Nilai  $K_a$  atau  $pK_a$  dari asam lemah tidak bergantung pada konsentrasi asam, tetapi bergantung pada suhu. Oleh sebab itu, pengenceran larutan penyangga tidak akan mengubah nilai  $pK_a$  (lihat **Gambar 8.9**).

Konsentrasi molar pasangan asam basa konjugat akan berubah jika volume larutan berubah sebab konsentrasi bergantung pada volume total larutan. Pengenceran larutan akan mengubah semua konsentrasi spesi yang ada dalam larutan, tetapi karena perubahan konsentrasi dirasakan oleh semua spesi maka perbandingan konsentrasi molar pasangan konjugat asam basa tidak berubah. Akibatnya, pH larutan tidak berubah.



**Gambar 8.9**  
Pengenceran larutan penyangga hanya mengubah konsentrasi molar spesi dalam kesetimbangan, tetapi tidak mengubah perbandingan spesi tersebut.

## Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Berapa pH larutan penyangga yang terbuat dari campuran natrium asetat 0,05 M dan asam asetat 0,01 M?  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,6 \times 10^{-5}$ .
2. Berapa pH larutan penyangga yang dibuat dari campuran  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,025 M dan  $\text{NH}_3$  0,01 M?  $K_b(\text{NH}_3) = 1,6 \times 10^{-5}$ .
3. Berapa konsentrasi ion benzoat,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$  yang harus ditambahkan kepada asam benzoat,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ , untuk membuat larutan penyangga dengan pH 5?  $K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 6,6 \times 10^{-5}$ .
4. Larutan penyangga dibuat dengan melarutkan 13 g  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  dan 15 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  dalam 1 L larutan. Berapakah pH larutan ini?
5. Larutan penyangga mengandung  $\text{NH}_3$  0,2 M dan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,2 M. Jika ke dalam 1 L larutan itu ditambahkan  $\text{NaOH}$  0,001 mol, berapa pH larutan penyangga sebelum dan setelah penambahan  $\text{NaOH}$ ? Diketahui  $K_b(\text{NH}_3) = 1,8 \times 10^{-5}$ .
6. Hitung pH setelah gas  $\text{HCl}$  0,01 mol ditambahkan ke dalam 250 mL larutan penyangga berikut.
  - a.  $\text{NH}_3$  0,05 M dan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,15 M
  - b.  $\text{NH}_3$  0,50 M dan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1,5 M
7. Berapakah pH larutan penyangga yang dibuat dengan melarutkan  $\text{NaNO}_2$  0,1 M dan  $\text{HCl}$  0,05 M ke dalam 500 mL larutan? Berapa pH larutan jika diencerkan dua kali lipat?  $K_a(\text{HNO}_2) = 7,2 \times 10^{-4}$ .

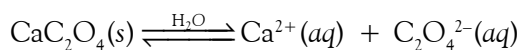
## D. Kestimbangan Kelarutan Garam Sukar Larut

Tidak semua garam dapat larut dalam air. Banyak garam-garam yang kurang larut bahkan dapat dikatakan tidak larut di dalam air. Walaupun tampaknya tidak larut, sesungguhnya masih ada sebagian kecil dari garam-garam itu yang dapat larut dalam air. Kelarutan garam-garam ini membentuk kesetimbangan dengan garam-garam yang tidak larut.

### 1. Tetapan Hasil Kali Kelarutan Garam

Banyak garam-garam yang larut dalam air terionisasi sempurna membentuk ion-ionnya, tetapi banyak juga garam-garam yang kelarutannya sedikit, bahkan nyaris tidak larut.

Garam-garam yang kurang larut, di dalam air membentuk keadaan setimbang antara garam yang tidak larut dengan yang terlarut dalam keadaan larutan jenuh. Contohnya, kalsium oksalat ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ) membentuk kesetimbangan berikut.



Tetapan kesetimbangan untuk kelarutan garam ini adalah sebagai berikut.

$$K = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]}{[\text{CaC}_2\text{O}_4]}$$

Oleh karena kelarutan garam relatif sangat kecil maka konsentrasi  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  diasumsikan tetap sehingga dapat dipersatukan dengan tetapan kesetimbangan, yaitu:

$$K [\text{CaC}_2\text{O}_4] = [\text{Ca}^{2+}] [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]$$

Persamaan ini dapat ditulis:

$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}] [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]$$

Lambang  $K_{sp}$  dinamakan tetapan hasil-kali kelarutan (*solubility product constant*) garam-garam sukar larut. Persamaan  $K_{sp}$  menyatakan bahwa perkalian konsentrasi ion-ion garam dalam larutan jenuh sama dengan nilai  $K_{sp}$ . Oleh karena nilai  $K_{sp}$  merupakan suatu tetapan kesetimbangan maka  $K_{sp}$  dipengaruhi oleh suhu larutan.



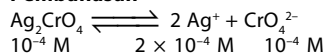


## Mahir Menjawab

Kelarutan  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  dalam air adalah  $10^{-4}$  M. Kelarutan  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  dalam larutan  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  0,01 M adalah ....

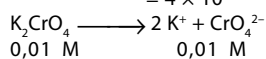
- A.  $10^{-5}$  M
- B.  $2 \times 10^{-5}$  M
- C.  $4 \times 10^{-5}$  M
- D.  $4 \times 10^{-10}$  M
- E.  $5 \times 10^{-6}$  M

### Pembahasan



$$10^{-4} \text{ M} \quad 2 \times 10^{-4} \text{ M} \quad 10^{-4} \text{ M}$$

$$K_{sp} \text{Ag}_2\text{CrO}_4 = [\text{Ag}^+]^2 [\text{CrO}_4^{2-}] = (2 \times 10^{-4})^2 (10^{-4}) = 4 \times 10^{-12}$$



$$0,01 \text{ M} \quad 0,01 \text{ M}$$

$$K_{sp} \text{Ag}_2\text{CrO}_4 = [\text{Ag}^+]^2 [\text{CrO}_4^{2-}] = 4 \times 10^{-12} = [\text{Ag}^+]^2 [0,01]$$

$$[\text{Ag}^+] = \sqrt{\frac{4 \times 10^{-12}}{0,01}} = 2 \times 10^{-5}$$

Jadi, kelarutan  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  dalam  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ :

$$s = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-5} = 10^{-5}$$

Jadi, jawabannya (A).

UNAS 2004

## Contoh 8.7

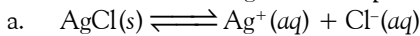
### Penulisan Ungkapan Hasil Kali Kelarutan

Tuliskan persamaan hasil-kali kelarutan untuk garam-garam berikut.

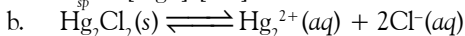
(a)  $\text{AgCl}$ ; (b)  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ; (c)  $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$

#### Jawab:

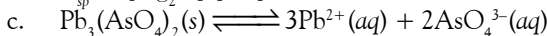
Persamaan kesetimbangan dan tetapan hasil kali kelarutannya adalah



$$K_{sp} = [\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-]$$



$$K_{sp} = [\text{Hg}_2^{2+}] [\text{Cl}^-]^2$$



$$K_{sp} = [\text{Pb}^{2+}]^3 [\text{AsO}_4^{3-}]^2$$

Tetapan hasil kali kelarutan ( $K_{sp}$ ) ditentukan oleh konsentrasi molar ion-ion yang terlarut di dalam air pada keadaan jenuh. Bagaimanakah menghitung tetapan hasil-kali kelarutan dari garam yang sukar larut ini. Simak contoh-contoh berikut.

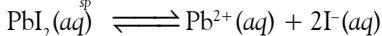
## Contoh 8.8

### Menentukan $K_{sp}$ dari Kesetimbangan Ion-Ion Terlarut

Berdasarkan percobaan, ditemukan bahwa  $\text{PbI}_2$  dapat larut sebanyak  $1,2 \times 10^{-3}$  mol per liter larutan jenuh pada  $25^\circ\text{C}$ . Berapakah  $K_{sp}$   $\text{PbI}_2$ ?

#### Jawab:

Nilai  $K_{sp}$  ditentukan dari hasil kali konsentrasi ion-ion dalam keadaan kesetimbangan



$$1,2 \times 10^{-3} \text{ M} \quad 1,2 \times 10^{-3} \text{ M} \quad 2(1,2 \times 10^{-3}) \text{ M}$$

$$K_{sp} = [\text{Pb}^{2+}] [\text{I}^-]^2 = (1,2 \times 10^{-3}) (2,4 \times 10^{-3})^2 = 6,9 \times 10^{-9}$$

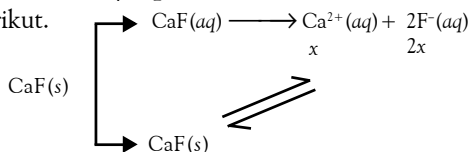
## Contoh 8.9

### Menentukan Kelarutan Garam dari $K_{sp}$

Mineral fluorit mengandung  $\text{CaF}_2$ . Hitung kelarutan  $\text{CaF}_2$  dalam air. Diketahui  $K_{sp}(\text{CaF}) = 3,4 \times 10^{-11}$ .

#### Jawab:

Misalkan,  $x$  adalah kelarutan molar  $\text{CaF}_2$ . Jika padatan  $\text{CaF}_2$  dilarutkan ke dalam 1 liter larutan, dari  $x$  mol  $\text{CaF}$  yang terlarut akan terbentuk  $x$  mol  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $2x$  mol  $\text{F}^-$ . Lihat diagram berikut.



$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}][\text{F}^-]^2 = 3,4 \times 10^{-11} = (x)(2x)^2 \rightarrow x = 2 \times 10^{-4}$$

Jadi, kelarutan  $\text{CaF}_2 = 2 \times 10^{-4}$  M.

Beberapa tetapan hasil kali kelarutan garam-garam yang sukar larut ditunjukkan tabel berikut.

**Tabel 8.2** Tetapan Hasil Kali Kelarutan ( $K_{sp}$ ) Beberapa Garam Sukar Larut

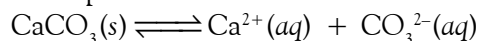
Garam Sukar Larut	Rumus	$K_{sp}$
Aluminium hidroksida	$Al(OH)_3$	$4,6 \times 10^{-33}$
Barium karbonat	$BaCO_3$	$1,2 \times 10^{-10}$
Barium kromat	$BaCrO_4$	$1,0 \times 10^{-6}$
Barium sulfat	$BaSO_4$	$1,1 \times 10^{-10}$
Besi(II) hidroksida	$Fe(OH)_2$	$8,0 \times 10^{-16}$
Besi(II) sulfida	$FeS$	$6,0 \times 10^{-18}$
Besi(III) hidroksida	$Fe(OH)_3$	$2,5 \times 10^{-39}$
Kadmium oksalat	$CdC_2O_4$	$1,5 \times 10^{-8}$
Kadmium sulfida	$CdS$	$8,0 \times 10^{-27}$
Kalsium karbonat	$CaCO_3$	$3,8 \times 10^{-9}$
Kalsium fluorida	$CaF_2$	$3,4 \times 10^{-11}$
Kalsium oksalat	$CaC_2O_4$	$2,3 \times 10^{-9}$
Kalsium fosfat	$Ca_3(PO_4)_2$	$1,0 \times 10^{-26}$
Kalsium sulfat	$CaSO_4$	$2,4 \times 10^{-5}$

Sumber: General Chemistry, 1990

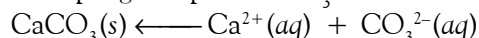
## 2. Pengaruh Ion Senama

Bagaimanakah kelarutan  $CaCO_3$  jika ke dalam larutan itu ditambahkan  $CaCl_2$ ? Garam yang ditambahkan sama-sama mengandung kation  $Ca^{2+}$ . Oleh karena kelarutan  $CaCO_3$  membentuk kesetimbangan antara  $CaCO_3(aq)$  terlarut dan  $CaCO_3(s)$  yang tidak larut maka penambahan ion senama akan menggeser posisi kesetimbangan garam kalsium karbonat.

Ke arah manakah pergeseran kesetimbangan terjadi? Oleh karena yang ditambahkan adalah ion  $Ca^{2+}$  maka kesetimbangan akan bergeser ke arah garam yang tidak larut. Tinjaulah sistem kesetimbangan garam kalsium karbonat dalam pelarut air berikut.



Penambahan ion  $Ca^{2+}$  ke dalam larutan  $CaCO_3$  akan menggeser posisi kesetimbangan ke arah pengendapan  $CaCO_3$ .



Dengan demikian, pengaruh ion senama akan menurunkan kelarutan garam-garam yang sukar larut di dalam air.

### Contoh 8.10

#### Pengaruh Ion Senama

Berapakah kelarutan  $CaC_2O_4$  dalam satu liter larutan  $CaCl_2$  0,15 M? Bandingkan kelarutan  $CaC_2O_4$  dalam air murni. Diketahui  $K_{sp} CaC_2O_4 = 2,3 \times 10^{-9}$ .

Jawab:

Dua macam garam memiliki ion senama  $Ca^{2+}$ . Salah satunya garam  $CaCl_2$  yang larut, menyediakan ion  $Ca^{2+}$  dan akan menekan kelarutan  $CaC_2O_4$ .

Sebelum  $CaC_2O_4$  dilarutkan, terdapat 0,15 mol  $Ca^{2+}$  dari  $CaCl_2$ . Jika kelarutan  $CaC_2O_4$  x M maka akan terbentuk x mol  $Ca^{2+}$  tambahan dan x mol  $C_2O_4^{2-}$ , seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

Konsentrasi	$CaC_2O_4(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + C_2O_4^{2-}(aq)$
Awal	0,15      0
Perubahan	+ x      + x
Kesetimbangan	0,15 + x      x



Sumber: Chemistry for You, 2002

**Gambar 8.10**

Pengaruh ion senama akan mendesak ion-ion yang sejenis untuk meninggalkan larutan.

### Kata Kunci

- Tetapan hasil kali kelarutan
- Pengaruh ion senama

Dengan memasukkan konsentrasi ion-ion ke dalam persamaan  $K_{sp}$  ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ), diperoleh:

$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}] [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]$$

$$2,3 \times 10^{-9} = (0,15 + x) x$$

Oleh karena  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  kurang larut maka nilai  $x$  dapat diabaikan terhadap nilai 0,15 sehingga

$$x \approx \frac{2,3 \times 10^{-9}}{0,15} = 1,5 \times 10^{-8}$$

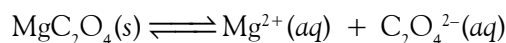
Jadi, kelarutan  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  0,15 M adalah  $1,5 \times 10^{-8}$  M.

Kelarutan  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  dalam air murni:  $4,8 \times 10^{-5}$  M, lebih besar 3.000 kali dibandingkan dalam  $\text{CaCl}_2$  0,15 M.

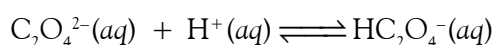
### 3. Pengaruh pH terhadap Kelarutan

Pada pembahasan sebelumnya, dijelaskan bahwa garam-garam yang ionnya berasal dari asam atau basa lemah akan terhidrolisis dan mengubah pH larutan. Bagaimanakah kelarutan garam-garam yang berasal dari asam atau basa lemah jika dilarutkan dalam larutan asam atau basa?

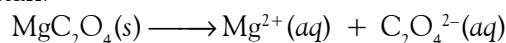
Tinjaulah kesetimbangan  $\text{MgC}_2\text{O}_4$  dengan ion-ionnya yang terlarut berikut.



Oleh karena ion oksalat ( $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ) adalah basa konjugat dari asam lemah maka ion tersebut dapat bereaksi dengan ion  $\text{H}^+$  dari asam.



Menurut Le Chatelier, ion  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  keluar dari kesetimbangan akibat bereaksi dengan ion  $\text{H}^+$ . Hal ini berarti padatan  $\text{MgC}_2\text{O}_4$  akan bergeser ke arah pelarutan.



Dengan demikian, magnesium oksalat menjadi lebih larut dalam larutan asam daripada dalam air murni.

Pengaruh asam terhadap kelarutan garam dapat diamati pada peluruhan gigi. Bakteri gigi menghasilkan media yang bersifat asam akibat metabolisme gula. Secara normal, gigi tersusun dari mineral hidroksiapatit yang ditulis sebagai  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  atau  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ . Garam mineral dengan anion dari asam lemah larut dengan adanya medium asam yang dapat menimbulkan lubang pada gigi.

Pasta gigi yang mengandung ion  $\text{F}^-$  dapat menggantikan ion  $\text{OH}^-$  pada gigi membentuk fluorapatit,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  yang kelarutannya lebih rendah dibandingkan hidroksiapatit.



Sumber: Sougou Kagashi

Gambar 8.11

Penyakit gigi berlubang dapat timbul karena sering mengonsumsi makanan yang mengandung gula dan kurangnya menjaga kebersihan gigi.

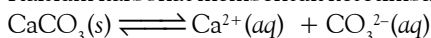
### Contoh 8.11

#### Pengaruh pH terhadap Kelarutan Garam

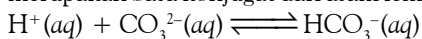
Di antara garam berikut:  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaSO}_4$ , manakah yang kelarutannya dipengaruhi oleh asam?

Jawab:

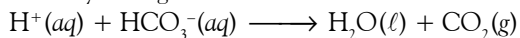
Kalsium karbonat membentuk kesetimbangan kelarutan sebagai berikut.



Jika asam kuat ditambahkan, ion  $\text{H}^+$  akan bereaksi dengan ion karbonat sebab ion ini merupakan basa konjugat dari asam lemah ( $\text{HCO}_3^-$ ).

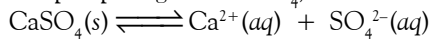


Oleh karena ion  $\text{CO}_3^{2-}$  keluar dari kesetimbangan maka kelarutan  $\text{CaCO}_3$  menjadi tinggi. Ion  $\text{HCO}_3^-$  dapat bereaksi lagi dengan ion  $\text{H}^+$  menghasilkan gas  $\text{CO}_2$ . Persamaan reaksinya sebagai berikut.

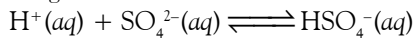


Gas  $\text{CO}_2$  meninggalkan larutan sehingga kelarutan  $\text{CaCO}_3$  semakin tinggi lagi.

Adapun pada garam  $\text{CaSO}_4$ , reaksi kesetimbangannya adalah



Oleh karena ion  $\text{SO}_4^{2-}$  adalah basa konjugat dari asam lemah maka  $\text{SO}_4^{2-}$  dapat bereaksi dengan ion  $\text{H}^+$ :



Oleh karena ion  $\text{HSO}_4^-$  memiliki tingkat keasaman lebih kuat dari  $\text{HCO}_3^-$  maka ion  $\text{HSO}_4^-$  tidak bereaksi lagi dengan ion  $\text{H}^+$ . Akibatnya, kelarutan  $\text{CaSO}_4$  lebih rendah dibandingkan  $\text{CaCO}_3$  di dalam larutan yang bersifat asam.

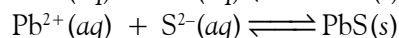
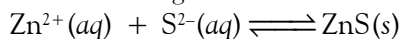
#### 4. Pemisahan Ion-Ion Logam

Umumnya garam-garam sulfida kurang larut dalam air, tetapi kelarutannya tinggi dalam larutan yang bersifat asam. Sifat seperti ini dimanfaatkan untuk memisahkan campuran ion-ion logam.

Andaikan suatu larutan mengandung campuran ion  $\text{Zn}^{2+}$  0,1 M dan ion  $\text{Pb}^{2+}$  0,1 M. Bagaimana memisahkan kedua logam tersebut?

Untuk memisahkannya dapat dilakukan berdasarkan pembentukan logam sulfida dengan cara mengalirkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  ke dalam larutan itu. Gas  $\text{H}_2\text{S}$  akan terurai membentuk ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{S}^{2-}$ .

Ion sulfida ( $\text{S}^{2-}$ ) yang dihasilkan dengan cara ini dapat bereaksi dengan ion logam membentuk logam sulfida.



Untuk mengetahui logam sulfida mana yang mengendap dapat ditentukan berdasarkan nilai hasil kali kelarutan, kemudian dibandingkan dengan nilai  $K_{sp}$ -nya.

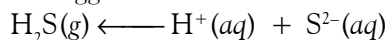
Konsentrasi ion  $\text{S}^{2-}$  dalam larutan setara dengan  $K_a(\text{H}_2\text{S}) = 1,2 \times 10^{-13}$  sehingga hasil kali kelarutan ion-ion  $\text{ZnS}$  adalah sebagai berikut.

$$[\text{Zn}^{2+}][\text{S}^{2-}] = (0,1)(1,2 \times 10^{-13}) = 1,2 \times 10^{-14}$$

Hasil kali konsentrasi molar ion  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{S}^{2-}$  lebih besar daripada  $K_{sp}(\text{ZnS})$  yaitu  $1,1 \times 10^{-21}$  maka seng(II) sulfida mengendap. Demikian juga hasil kali konsentrasi ion-ion  $[\text{Pb}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 1,2 \times 10^{-14}$  lebih besar dari  $K_{sp}(\text{PbS}) = 2,5 \times 10^{-27}$  sehingga timbal(II) sulfida juga mengendap.

Oleh karena  $\text{ZnS}$  dan  $\text{PbS}$  keduanya mengendap maka kedua ion tersebut belum dapat dipisahkan. Untuk memisahkan kedua logam tersebut dapat dilakukan dengan cara mengasamkan larutan.

Simak pengaruh penambahan asam kuat ke dalam larutan  $\text{Zn}^{2+}$  dan  $\text{Pb}^{2+}$  sebelum dijenuhkan dengan gas  $\text{H}_2\text{S}$ . Ion  $\text{H}^+$  dari asam kuat akan menekan ionisasi  $\text{H}_2\text{S}$  sehingga menurunkan konsentrasi ion  $\text{S}^{2-}$ .



Dengan mengatur konsentrasi ion  $\text{H}^+$  (pH larutan) maka kelarutan ion  $\text{S}^{2-}$  dapat diatur, tentunya pengendapan  $\text{ZnS}$  dan  $\text{PbS}$  dapat dikendalikan. Oleh karena  $K_{sp}(\text{PbS})$  jauh lebih kecil dibandingkan  $\text{ZnS}$  maka  $\text{PbS}$  akan mengendap lebih dulu pada pH tertentu.

## Tes Kompetensi Subbab D

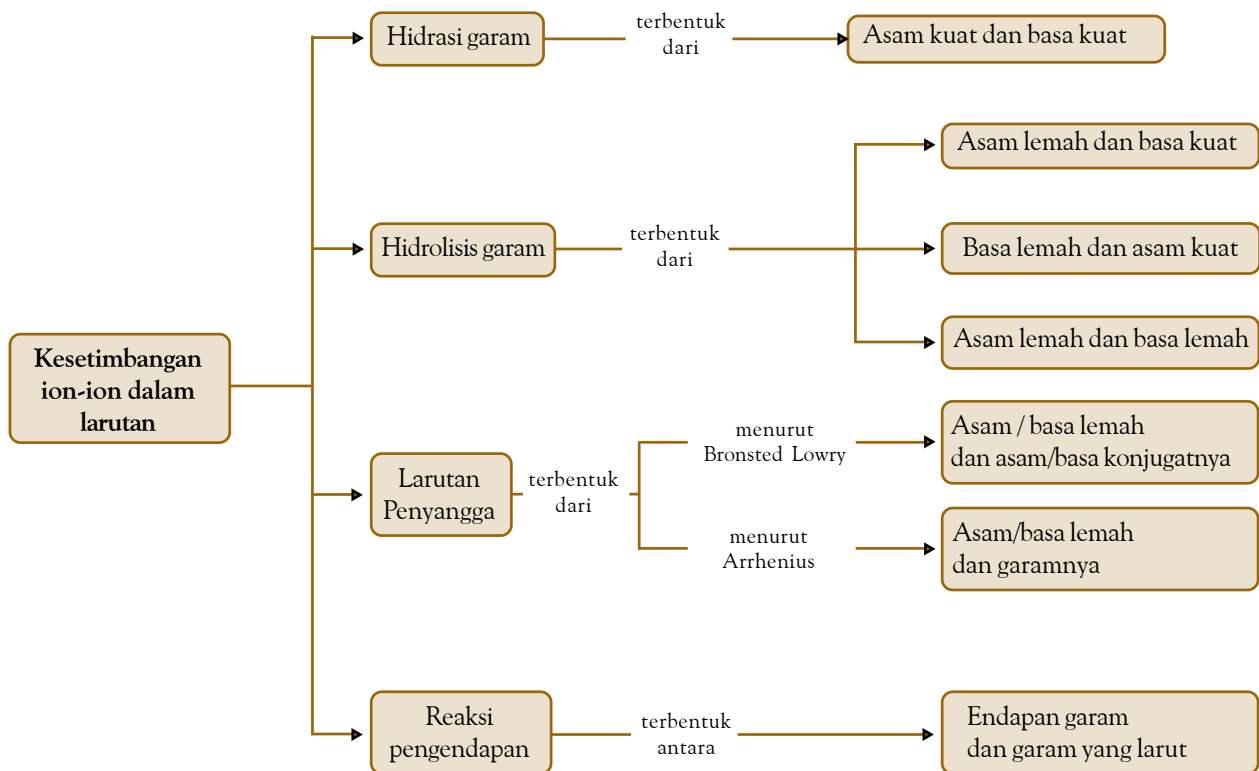
Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Tuliskan persamaan hasil kali kelarutan untuk garam-garam berikut: (a)  $\text{CaCO}_3$ ; (b)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; (c)  $\text{PbS}$ .
2. Satu liter larutan yang jenuh dengan kalsium oksalat,  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  diuapkan hingga kering menghasilkan 0,0061 g residu  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ . Hitung  $K_{sp}$  garam tersebut?
3. Berapakah kelarutan molar kalsium fosfat,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , dalam 0,15 M kalsium klorida? Diketahui  $K_{sp} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 1,0 \times 10^{-26}$ .
4. Garam manakah yang kelarutannya lebih tinggi di dalam suasana asam,  $\text{AgCl}$  atau  $\text{AgCN}$ ?
5. Suatu larutan mengandung  $\text{Co}^{2+}$  0,10 M dan  $\text{Hg}^{2+}$  0,10 M. Hitunglah rentang pH saat hanya satu logam sulfida yang mengendap ketika larutan dijenuhkan dengan  $\text{H}_2\text{S}$ .

## Rangkuman

1. Garam-garam yang berasal dari asam kuat dan basa kuat di dalam air akan terhidrasi. Garam-garam ini tidak mengubah pH larutan.
2. Garam-garam yang berasal dari asam atau basa lemah di dalam air akan terhidrolisis. Garam-garam seperti ini dapat mengubah pH larutan.
3. Tetapan kesetimbangan untuk garam-garam yang terhidrolisis dapat ditentukan melalui persamaan,  $K_w = K_a \times K_b$ .
4. Penambahan ion sejenis ke dalam larutan garam yang terhidrolisis akan membentuk larutan penyangga.
5. Menurut Teori Asam Basa Arrhenius, larutan penyangga adalah campuran asam lemah dan garamnya atau basa lemah dan garamnya.
6. Menurut Teori Asam Basa Bronsted-Lowry, larutan penyangga adalah campuran asam lemah dan basa konjugatnya atau basa lemah dan asam konjugatnya.
7. Prinsip larutan penyangga adalah adanya kesetimbangan antara asam lemah atau basa lemah dengan basa atau asam konjugatnya. Sistem kesetimbang ini dapat mempertahankan pH larutan penyangga.
8. Persamaan untuk menentukan pH dan pOH larutan penyangga dirumuskan pertama kali oleh Henderson-Hasselbalch.
9. pH larutan penyangga dikendalikan oleh perbandingan konsentrasi pasangan asam lemah dan basa konjugatnya dan tetapan ionisasi dari asam atau basa lemah.
10. Penambahan sedikit asam atau basa kuat terhadap larutan penyangga tidak mengubah pH larutan penyangga secara signifikan.
11. Prinsip kesetimbangan juga terdapat pada garam-garam yang sukar larut dalam air. Garam-garam ini membentuk kesetimbangan di antara padatan dan ion-ion yang larut dengan konsentrasi sangat kecil.
12. Hasil kali kelarutan garam-garam sukar larut bersifat tetap selama suhu tetap. Hasil kali ini dilambangkan dengan  $K_{sp}$ , yaitu tetapan hasil kali kelarutan dari garam-garam sukar larut.
13. Penambahan ion senama ke dalam larutan garam yang sukar larut mengakibatkan kelarutan garam akan berkurang.
14. Penurunan pH larutan (larutan dibuat asam) akan meningkatkan kelarutan garam-garam yang berasal dari asam lemah.
15. Campuran ion-ion logam di dalam larutan dapat dipisahkan satu dengan lainnya berdasarkan harga  $K_{sp}$  dan pengaturan pH larutan.

## Peta Konsep



## Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, Anda tentu telah dapat memahami bagaimana cara mengidentifikasi ciri-ciri beberapa garam yang dapat terhidrolisis dalam air dan garam yang tidak terhidrolisis. Anda juga telah mengetahui hubungan antara tetapan hidrolisis, tetapan ionisasi air, dan konsentrasi  $\text{OH}^-$  atau  $\text{H}^+$  dari larutan garam yang terhidrolisis.

Pada Bab 8 ini Anda juga telah memahami konsep larutan penyangga, membuktikannya melalui pengamatan, dan mempelajari perhitungan pH larutan penyangga. Perhitungan pH menerapkan Hukum Kesetimbangan

sehingga dapat diketahui bagaimanakah pengaruh penambahan asam atau basa terhadap pH larutan penyangga.

Pada pembahasan selanjutnya dijelaskan bagaimana cara menentukan tetapan hasil kali kelarutan suatu garam, pengaruh ion senama terhadap kelarutan dan arah pergeseran kesetimbangan. Dengan memahami konsep tersebut Anda dapat memisahkan ion-ion logam berdasarkan kelarutannya.

Menurut pemahaman Anda apakah manfaat lainnya dari mempelajari bab ini?

### A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.

- Titrasi asam lemah oleh basa kuat mencapai titik setara pada  $\text{pH} > 7$ . Hal ini disebabkan garam yang terbentuk ....
  - terhidrasi sebagian
  - terhidrasi total
  - terhidrolisis total
  - terhidrolisis sebagian
  - menjadi larutan penyangga
- Pada titrasi asam kuat oleh basa lemah, setelah titik setara tercapai, penambahan kembali basa lemah akan menyebabkan campuran ....
  - terhidrasi sebagian
  - terhidrasi total
  - terhidrolisis total
  - terhidrolisis sebagian
  - membentuk larutan penyangga
- Titrasi asam lemah oleh basa kuat memiliki titik setara pada  $\text{pH} 10$ . Nilai  $\text{p}K_a$  dari asam lemah tersebut adalah ....
 

A. 4	D. 7
B. 5	E. 8
C. 6	
- Campuran berikut yang bersifat asam adalah ....
  - 100 mL NaOH 0,1 M + 100 mL HCl 0,1 M
  - 50 mL NaOH 0,1 M + 50 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M
  - 50 mL KOH 0,1 M + 50 mL HCN 0,1 M
  - 100 mL  $\text{NH}_3$  0,1 M + 50 mL HCl 0,1 M
  - 100 mL  $\text{NH}_3$  0,1 M + 100 mL HCl 0,1 M
- Indikator yang paling tepat digunakan pada titrasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M oleh NaOH 0,1 M adalah ....
  - metil merah (rentang pH: 3,5 – 4,8)
  - bromkresol hijau (rentang pH: 4,6 – 5,8)
  - bromtimol biru (rentang pH: 6,0 – 8,0)
  - fenolftalien (rentang pH: 8,0 – 10,0)
  - alizarin kuning (rentang pH: 10,0 – 12,5)
- Di antara garam berikut di dalam air akan terhidrasi sempurna adalah ....
 

A. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	D. $\text{KNO}_3$
B. $\text{AlCl}_3$	E. $\text{NaHSO}_4$
C. $\text{NaHCO}_3$	
- Di antara garam berikut di dalam air kationnya akan terhidrolisis adalah ....
 

A. $\text{NH}_4\text{Cl}$	D. $\text{KNO}_3$
B. $\text{BaCl}_2$	E. $\text{MgSO}_4$
C. $\text{NaHCO}_3$	
- Di antara garam berikut di dalam air anionnya akan terhidrolisis adalah ....
 

A. $\text{NH}_4\text{Cl}$	D. $\text{NaNO}_3$
B. $\text{MgCl}_2$	E. $\text{Na}_2\text{SO}_4$
C. $\text{Na}_2\text{HCO}_3$	
- Di antara garam berikut di dalam air akan terhidrolisis total adalah ....
 

A. $\text{NH}_4\text{CN}$	D. KCN
B. $\text{MgBr}_2$	E. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
C. NaCN	
- Larutan berikut memiliki konsentrasi sama, tetapi pH berbeda. Nilai pH paling tinggi adalah ....
 

A. $\text{KNO}_3$	D. $\text{CH}_3\text{NH}_2$
B. $\text{CH}_3\text{COONa}$	E. $\text{NH}_4\text{Cl}$
C. NaCN	
- Ebtanas 1998:**  
Garam-garam berikut yang mengalami hidrolisis total adalah ....
 

A. $\text{CH}_3\text{COONa}$	D. $\text{NH}_4\text{Cl}$
B. $\text{CH}_3\text{COONH}_4$	E. NaCN
C. NaCl	
- Ebtanas 1999:**  
Garam berikut yang kelarutannya dalam air bersifat basa adalah ....
 

A. $\text{CH}_3\text{COOK}$	D. $\text{CH}_3\text{COONH}_4$
B. $\text{Na}_2\text{SO}_4$	E. $\text{NH}_4\text{Cl}$
C. NaCl	
- Ebtanas 2000:**  
Larutan garam yang memiliki  $\text{pH} > 7$  terdapat pada larutan ....
 

A. NaCl	D. $\text{Na}_2\text{SO}_4$
B. $\text{NH}_4\text{Cl}$	E. $\text{K}_2\text{SO}_4$
C. $\text{K}_2\text{CO}_3$	
- Jika  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1 \times 10^{-5}$  maka pH larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,1 M adalah ....
 

A. 3	D. 7
B. 9	E. 13
C. 11	
- Jika  $K_b(\text{NH}_3) = 1 \times 10^{-5}$ , pH larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,1 M adalah ....
 

A. 3	D. 7
B. 9	E. 13
C. 5	
- Jika 250 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M ( $K_a = 1 \times 10^{-5}$ ) dicampurkan dengan 250 mL larutan KOH 0,1 M, pH campurannya adalah ....
 

A. 1,35	B. 2,19
B. 4,69	E. 8,85
C. 5,15	
- Larutan penyangga dapat dibuat dengan cara mencampurkan larutan ....
  - $\text{HNO}_3$  dan  $\text{CH}_3\text{COONa}$
  - $\text{HNO}_3$  dan  $\text{NaNO}_3$
  - $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan  $\text{CH}_3\text{COONa}$



- D.  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{CH}_3\text{COONa}$   
 E.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dan  $\text{CH}_3\text{COONa}$

18. Campuran berikut yang akan membentuk larutan penyangga adalah ....  
 A. 100 mL  $\text{NaOH}$  0,1 M + 100 mL  $\text{HCl}$  0,1 M  
 B. 50 mL  $\text{NaOH}$  0,1 M + 50 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M  
 C. 50 mL  $\text{KHSO}_4$  0,1 M + 50 mL  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0,1 M  
 D. 100 mL  $\text{NH}_3$  0,1 M + 100 mL  $\text{HCl}$  0,1 M  
 E. 100 mL  $\text{NH}_3$  0,1 M + 100 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M

19. Ebtanas 1997:

Larutan	pH Awal	pH Setelah Penambahan		
		Asam	Basa	Air
P	5,00	5,00	5,00	5,00
Q	5,00	2,00	12,00	5,00
R	9,00	2,00	12,00	8,00
S	7,00	5,50	12,50	6,00
T	6,00	4,50	8,00	6,00

Pada tabel tersebut yang merupakan larutan penyangga adalah ....

- A. P  
 B. R  
 C. S  
 D. Q  
 E. T

20. Ebtanas 1999:

Pasangan larutan berikut yang menghasilkan larutan penyangga adalah ....

- A. 100 mL  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,2 M + 100 mL  $\text{HCl}$  0,1 M  
 B. 100 mL  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,2 M + 100 mL  $\text{HCl}$  0,3 M  
 C. 100 mL  $\text{NaOH}$  0,2 M + 100 mL  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$  0,2 M  
 D. 100 mL  $\text{NaOH}$  0,2 M + 100 mL  $\text{HCN}$  0,1 M  
 E. 100 mL  $\text{NaOH}$  0,2 M + 100 mL  $\text{HCl}$  0,2 M

21. Jika diketahui  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1 \times 10^{-5}$ , pH larutan yang dibuat dari campuran 100 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M dan 50 mL  $\text{CH}_3\text{COONa}$  1 M adalah ....

- A. 3  
 B. 7  
 C. 9  
 D. 5  
 E. 11

22. Berapa pH larutan yang dibuat dari campuran 50 mL  $\text{NH}_3$  0,5 M dan 50 mL  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,5 M?

- Diketahui  $K_b(\text{NH}_3) = 1 \times 10^{-5}$   
 A. 3  
 B. 7  
 C. 9  
 D. 5  
 E. 11

23. Suatu larutan penyangga berasal dari campuran asam asetat dan kalium asetat memiliki pH = 5,24. Diketahui  $K_a(\text{HAs}) = 1,8 \times 10^{-5}$ . Perbandingan  $[\text{As}^-]:[\text{HAs}]$  dalam larutan ini adalah ....

- A. 1:1  
 B. 5:1  
 C. 1:3  
 D. 3:1  
 E. 1:5

24. Perbandingan volume dari campuran larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M dan larutan  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,1 M agar menghasilkan larutan penyangga dengan pH 5 adalah ....  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1 \times 10^{-5}$

- A. 1 : 1  
 B. 1 : 2  
 C. 2 : 3  
 D. 2 : 1  
 E. 3 : 2

25. Jika ke dalam larutan penyangga yang terdiri atas campuran  $\text{NaCN}$  dan  $\text{HCN}$  ditambahkan sedikit asam, pH larutan relatif tidak berubah akibat terjadinya pergeseran kesetimbangan ....

- A.  $\text{HCN} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CN}^-$  ke kiri  
 B.  $\text{HCN} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CN}^-$  ke kanan  
 C.  $\text{CN}^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{Na}^+$  ke kiri  
 D.  $\text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{OH}^-$  ke kiri  
 E.  $\text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{OH}^-$  ke kanan

26. Penambahan air ke dalam larutan penyangga akan menyebabkan ....

- A. pH larutan berubah  
 B.  $pK_a$  larutan berubah  
 C. pH dan  $pK_a$  tetap  
 D.  $pK_a$  berubah, tetapi pH tetap  
 E. pH tetap, tetapi  $pK_a$  tetap

27. Hasil kali kelarutan ( $K_{sp}$ )  $\text{Ag}_2\text{SO}_4 = 3,2 \times 10^{-5}$ , kelarutannya dalam 1 L air adalah ....

- A.  $2 \times 10^{-5}$   
 B.  $1 \times 10^{-2,5}$   
 C.  $4 \times 10^{-2}$   
 D.  $2 \times 10^{-3}$   
 E.  $1 \times 10^{-2}$

28. Dalam 1 L air dapat larut  $1,4 \times 10^{-12}$  mol  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ . Hasil kali kelarutan  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  adalah ....

- A.  $1,4 \times 10^{-36}$   
 B.  $1,1 \times 10^{-35}$   
 C.  $1,9 \times 10^{-24}$   
 D.  $2,7 \times 10^{-18}$   
 E.  $1,4 \times 10^{-12}$

29. Ebtanas 1998:

Perhatikan tabel  $K_{sp}$  senyawa karbonat dengan konsentrasi ion pembentuknya:

Rumus Zat	$K_{sp}$	Konsentrasi (mol L <sup>-1</sup> )	
		Ion (+)	Ion (-)
$\text{MgCO}_3$	$3,5 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-6}$
$\text{CaCO}_3$	$9,0 \times 10^{-9}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-5}$
$\text{SrCO}_3$	$9,3 \times 10^{-10}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$
$\text{BaCO}_3$	$8,9 \times 10^{-9}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-5}$
$\text{FeCO}_3$	$2,1 \times 10^{-11}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$

Berdasarkan data pada tabel di atas, endapan yang akan terbentuk jika ion (+) dan ion (-) direaksikan adalah ....

- A.  $\text{MgCO}_3$   
 B.  $\text{SrCO}_3$   
 C.  $\text{BaCO}_3$   
 D.  $\text{CaCO}_3$   
 E.  $\text{FeCO}_3$

30. Jika kelarutan  $\text{CaF}_2$  sama dengan a mol L<sup>-1</sup>, nilai  $K_{sp}$  larutan garam ini adalah ....

- A.  $\frac{1}{4} a^3$   
 B. a  
 C.  $2a^3$   
 D.  $\frac{1}{2} a^3$   
 E.  $4a^3$

31. **UMPTN 1998/A:**

Pada suhu tertentu, 0,35 g  $\text{BaF}_2$  ( $M_r = 175$ ) dilarutkan dalam air murni membentuk 1 L larutan jenuh. Hasil kali kelarutan  $\text{BaF}_2$  pada suhu tersebut adalah ....

- A.  $1,7 \times 10^{-2}$       D.  $3,2 \times 10^{-9}$   
 B.  $3,2 \times 10^{-6}$       E.  $4,0 \times 10^{-9}$   
 C.  $3,2 \times 10^{-8}$

32. Garam yang kelarutannya paling besar adalah ....

- A.  $\text{AgCl}$ ,  $K_{sp} = 1 \times 10^{-10}$   
 B.  $\text{AgI}$ ,  $K_{sp} = 1 \times 10^{-16}$   
 C.  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ,  $K_{sp} = 3,2 \times 10^{-12}$   
 D.  $\text{Ag}_2\text{S}$ ,  $K_{sp} = 1,6 \times 10^{-49}$   
 E.  $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,  $K_{sp} = 1,1 \times 10^{-11}$

33. Jika konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  dalam larutan jenuh  $\text{CaF}_2 = 2 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ , hasil kali kelarutan  $\text{CaF}_2$  adalah ....

- A.  $8 \times 10^{-8}$       D.  $1,6 \times 10^{-12}$   
 B.  $3,2 \times 10^{-11}$       E.  $2 \times 10^{-12}$   
 C.  $4 \times 10^{-12}$

**B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.**

1. Sebanyak 50 mL asam asetat 0,10 M ( $\text{p}K_a = 4,75$ ) dititrasi dengan larutan  $\text{NaOH}$  0,1 M. Hitung pH setelah penambahan  $\text{NaOH}$  sebanyak:

(a) 0,0 mL; (b) 25 mL; (c) 50 mL; (d) 75 mL

2. Untuk setiap garam berikut, tunjukkan apakah larutan akan bersifat asam, basa, atau netral.

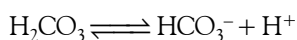
(a)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ; (b)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; (c)  $\text{Ca}(\text{CN})_2$ ; (d)  $\text{NH}_4\text{Cl}$

3. Berapakah pH larutan natrium propionat,  $\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_2$  0,025 M? Berapakah konsentrasi asam propionat dalam larutan? Diketahui  $K_a(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) = 1,3 \times 10^{-5}$ .

4. Berapakah pH larutan penyangga yang terbuat dari campuran natrium asetat 0,05 M dan asam asetat 0,01 M?  $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,6 \times 10^{-5}$ .

5. Larutan penyangga dibuat dengan melarutkan  $\text{NaHCO}_3$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dalam air. Tuliskan persamaan yang menunjukkan bahwa larutan penyangga ini dapat menetralkan meskipun dengan penambahan sedikit  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$ ?

6. Darah normal memiliki  $\text{pH} = 7,4$ . Berapakah perbandingan konsentrasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$  terhadap  $\text{HCO}_3^-$  dalam darah?



Diketahui  $K_a(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,3 \times 10^{-7}$ .

34. Di antara senyawa berikut yang mempunyai kelarutan molar paling besar adalah ....

- A.  $\text{PbSO}_4$        $K_{sp} = 2,0 \times 10^{-8}$   
 B.  $\text{CaF}_2$        $K_{sp} = 1,7 \times 10^{-10}$   
 C.  $\text{Al}(\text{OH})_3$        $K_{sp} = 2,0 \times 10^{-33}$   
 D.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$        $K_{sp} = 1,1 \times 10^{-30}$   
 E.  $\text{PbCl}_2$        $K_{sp} = 1,6 \times 10^{-5}$

35. Pernyataan berikut yang paling tepat adalah ....

- A. kelarutan  $\text{MgF}_2$  dalam  $\text{NaF}$  0,1 M lebih besar dibandingkan kelarutannya dalam air  
 B. kelarutan  $\text{MgF}_2$  dalam  $\text{NaF}$  0,1 M lebih kecil dibandingkan kelarutannya dalam air  
 C. kelarutan  $\text{MgF}_2$  dalam  $\text{NaF}$  0,1 M sama dengan kelarutannya dalam air  
 D. kelarutan  $\text{MgF}_2$  dalam air tidak dipengaruhi oleh adanya  $\text{NaF}$   
 E. kelarutan  $\text{MgF}_2$  tidak dipengaruhi oleh suhu

7. Berapakah pH larutan penyangga yang dibuat dengan mencampurkan  $\text{NH}_3$  0,10 M dan  $\text{NH}_4^+$  0,10 M? Berapakah pH larutan tersebut jika 12 mL  $\text{HCl}$  0,2 M ditambahkan ke dalam 125 mL larutan penyangga?  $K_b(\text{NH}_3) = 1,6 \times 10^{-5}$ .

8. Satu liter larutan penyangga dibuat dengan melarutkan  $\text{NaNO}_2$  0,10 M dan  $\text{HNO}_2$  0,05 M ke dalam air. Berapakah pH larutan? Jika larutan diencerkan dua kali lipat dengan air, berapakah pH larutan sekarang?  $K_a(\text{HNO}_2) = 7,2 \times 10^{-4}$ .

9. Kelarutan magnesium fluorida,  $\text{MgF}_2$  dalam air adalah  $0,0076 \text{ g L}^{-1}$ . Berapakah kelarutan (dalam  $\text{g L}^{-1}$ ) magnesium fluorida dalam  $\text{NaF}$  0,02 M?

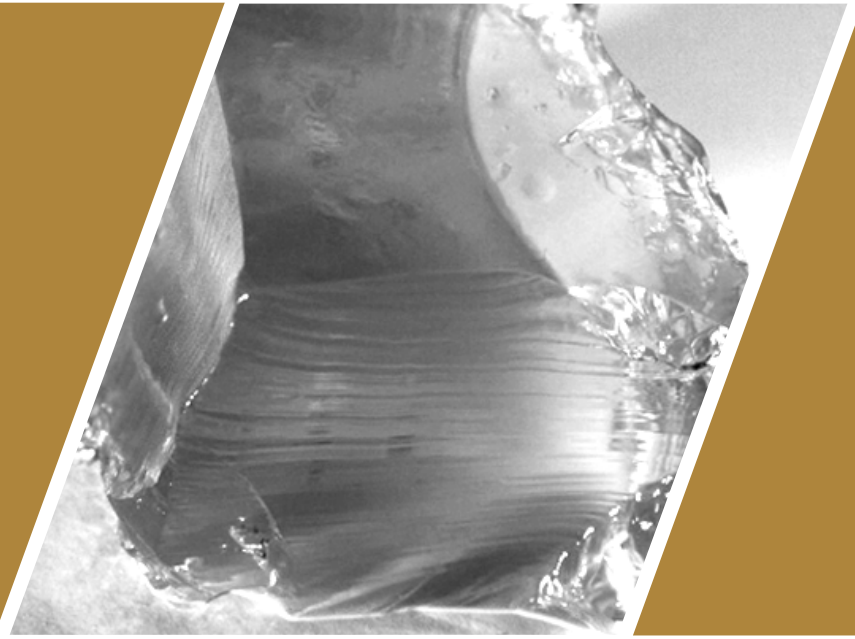
10.  $K_{sp}$  hidroksiapatit,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  adalah  $6,8 \times 10^{-37}$ .

a. Hitung kelarutan hidroksiapatit dalam air murni (dalam mol per liter).

b. Bagaimanakah kelarutan hidroksiapatit jika dipengaruhi oleh sedikit asam?

c. Jika hidroksiapatit diolah dengan fluorida, bentuk mineral fluoroapatit,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  ( $K_{sp} = 1,0 \times 10^{-60}$ ). Hitunglah kelarutan fluoroapatit dalam air.

# Bab 9



Sumber: art-mind.org

Agar-agar merupakan suatu sistem koloid.

## Sistem Koloid

Hasil yang harus Anda capai:

menjelaskan sistem dan sifat koloid serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- membuat berbagai sistem koloid dengan bahan-bahan yang ada di sekitarnya;
- mengelompokkan sifat-sifat koloid dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Tahukah Anda mengapa pada siang hari ruangan yang tidak terkena cahaya matahari secara langsung tampak terang? Mengapa biskuit di dalam kaleng tetap kering walaupun telah lama disimpan? Zat apakah yang ditambahkan ke dalam kaleng itu? Lain pula halnya pada minyak dan zaitun jika dicampurkan menghasilkan campuran berupa susu. Campuran ini dapat menghamburkan cahaya, sedangkan air dan minyak zaitun, masing-masing dapat tembus cahaya. Perubahan apakah yang terjadi dalam sistem tersebut? Peristiwa-peristiwa di atas terjadi karena adanya sistem koloid. Apakah sistem koloid itu?

Koloid adalah salah satu jenis campuran homogen yang memiliki sifat-sifat berbeda dengan larutan yang selama ini Anda ketahui. Perbedaan sifat ini disebabkan oleh ukuran partikel zat terlarut yang lebih besar dibandingkan dengan larutan. Koloid memiliki aplikasi luas mencakup banyak material yang ada di alam maupun yang dikembangkan di industri, seperti kosmetik, obat-obatan, pengolahan air minum, sampai material bangunan. Apa sajakah sifat-sifat koloid itu? dan bagaimanakah pemanfaatannya? Anda akan mengetahuinya setelah mempelajari bab ini.

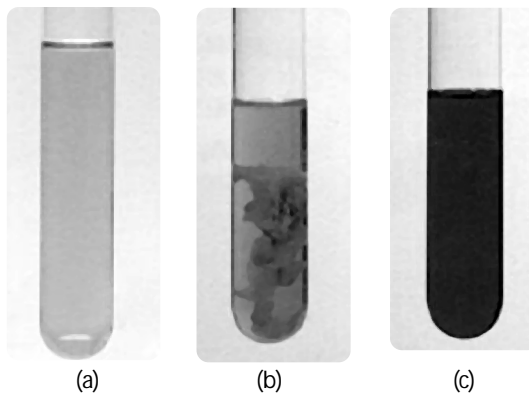
- A. Penggolongan dan Sifat-Sifat Koloid
- B. Kestabilan Koloid
- C. Pembuatan Koloid

## Tes Kompetensi Awal

1. Apakah yang Anda ketahui tentang larutan?
2. Jelaskan perbedaan antara larutan dan campuran.
3. Sebutkan penggolongan campuran. Jelaskan definisinya.

## A. Penggolongan dan Sifat-Sifat Koloid

Selama ini Anda memahami bahwa campuran ada dua macam, yaitu campuran homogen (larutan sejati) dan campuran heterogen (suspensi). Di antara dua keadaan ini, ada satu jenis campuran yang menyerupai larutan sejati, tetapi sifat-sifat yang dimilikinya berbeda sehingga tidak dapat digolongkan sebagai larutan sejati maupun suspensi. Larutan seperti ini disebut koloid. Perhatikan Gambar 9.1.



Gambar 9.1

- (a) Sistem larutan (homogen dan transparan)
- (b) Sistem suspensi (heterogen)
- (c) Sistem koloid (homogen, tetapi tidak transparan)

Sumber: Sougou Kagashi

### 1. Makna Koloid

Pernahkah Anda membuat kanji dari tepung tapioka? Jika tepung tapioka dicampurkan dengan air dingin tidak terbentuk larutan melainkan suspensi sebab kanji tidak larut dalam air dingin. Akan tetapi, jika dipanaskan maka campuran tersebut akan membentuk larutan yang sangat kental. Apakah kanji yang terbentuk layak disebut larutan? Ada beberapa persamaan dan perbedaan antara kanji dan larutan sejati. Persamaan antara kanji dan larutan sejati adalah membentuk satu fasa dan tidak dapat dipisahkan. Perbedaannya, kanji tidak transparan terhadap cahaya dan ukuran partikel zat terlarut relatif lebih besar, dan banyak lagi sifat lainnya.

Oleh karena banyak perbedaan antara larutan sejati dan kanji maka diperlukan definisi baru untuk larutan sejenis kanji. Pakar kimia menggolongkan kanji ke dalam golongan khusus yang disebut sistem koloid. Berdasarkan ukuran partikel, sistem koloid berada di antara suspensi kasar dan larutan sejati. Ukuran partikel koloid lebih kecil dari suspensi kasar sehingga tidak membentuk fasa terpisah, tetapi tidak cukup kecil jika dibandingkan larutan sejati.

Dalam larutan sejati, molekul, atom, atau ion terlarut secara homogen di dalam pelarut. Dalam sistem koloid, partikel-partikel koloid terdispersi secara homogen dalam mediumnya. Oleh karena itu, partikel koloid disebut sebagai fasa terdispersi dan mediumnya disebut sebagai medium pendispersi. Perhatikan persamaan dan perbedaan sifat dari larutan sejati, dan suspensi pada tabel berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 9.2

Obat antiseptik merupakan suatu koloid.

**Tabel 9.1** Persamaan dan Perbedaan Sifat Larutan Sejati, Koloid, dan Suspensi Kasar.

ariabel	Larutan Sejati	Sistem Koloid	Suspensi Kasar
Ukuran partikel (cm)	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-6} - 10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-1}$
Fasa campuran	Satu fasa	Satu fasa	Polifasa
Penembusan oleh cahaya	Transparan	Tidak transparan	–
Penyaringan	Tidak terpisahkan	Tidak terpisahkan	Terpisahkan
Kestabilan larutan	Sangat stabil	Beragam	Tidak stabil

Sumber: Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis, 1989

## 2. Penggolongan Koloid

Sama seperti larutan sejati, dalam sistem koloid zat terdispersi maupun pendispersi dapat berupa gas, cairan, maupun padatan. Oleh sebab itu, ada delapan macam sistem koloid seperti disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 9.2** Penggolongan Sistem Koloid

at Terdispersi	Medium Pendispersi	ujud Koloid	Contoh
Gas	Cair	Busa	Busa sabun, krim kocok
Gas	Padat	Busa padat	Batu apung, karet busa
Cair	Gas	Aerosol cair	Kabut, awan, aerosol, spray
Cair	Cair	Emulsi	Susu cair, cokelat cair, saos
Cair	Padat	Emulsi padat	Keju, mentega, jeli
Padat	Gas	Aerosol padat	Asap, debu
Padat	Cair	Sol	Cat, selai, gelatin,
Padat	Padat	Sol padat	Kaca rubi, obatan-obatan

Jika ditinjau dari tabel tersebut maka sistem koloid mencakup hampir semua materi baik yang dihasilkan dari proses alam maupun yang dikembangkan oleh manusia.

### a. Koloid Liofil dan Liofob

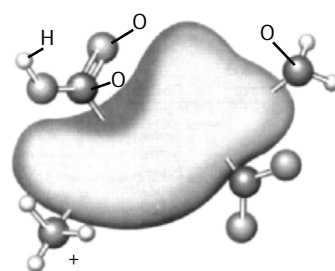
erdasarkan tingkat kestabilannya, koloid dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu koloid liofob dan liofil. Koloid liofob memiliki kestabilan rendah, sedangkan koloid liofil memiliki kestabilan tinggi.

Liofob berasal dari bahasa Latin yang artinya menolak pelarut, sedangkan liofil berarti menyukai pelarut. Jika medium pendispersi dalam koloid adalah air maka digunakan istilah hidrofob dan hidrofil sebagai pengganti liofob dan liofil.

Koloid hidrofil relatif stabil (Gambar 9.3) dan mudah dibuat, misalnya dengan cara pelarutan. Gelatin, albumin telur, dan gom arab terbentuk dari dehidrasi (penghilangan air) koloid hidrofil. Dengan menambahkan medium pendispersi, gelatin dapat terbentuk kembali menjadi koloid sebab prosesnya dapat balik (reversible).

Koloid hidrofob umumnya kurang stabil dan cenderung mudah mengendap. Waktu yang diperlukan untuk mengendap sangat beragam bergantung pada kemampuan agregat (mengumpul) dari koloid tersebut.

Lumpur adalah koloid jenis hidrofob. Lumpur akan mengendap dalam waktu relatif singkat. Namun, ada juga koloid hidrofob yang berumur panjang, misalnya sol emas. Sol emas dalam medium air dapat



Sumber: Sougou Kagashi

**Gambar 9.3**

Koloid hidrofil memiliki gugus-gugus polar pada permukaannya sehingga bersifat stabil dalam air.

## Kata Kunci

- Koloid
- Fasa terdispersi
- Medium pendispersi
- Ukuran partikel
- Tingkat kestabilan





Sumber: Sougou Kagashi

Gambar 9.4

Pembuatan gelatin dari kerupuk kulit sapi merupakan contoh koloid. Jenis emulsi ini tidak akan tumpah jika posisi wadahnya terbalik.



### Mahir Menjawab

Berikut ini merupakan sifat koloid ....

- dapat mengadsorpsi ion
- menghamburkan cahaya
- partikelnya terus bergerak
- dapat bermuatan listrik
- semua benar

Pembahasan

Sifat-sifat partikel koloid, antara lain:

- dapat menyerap melalui permukaan (adsorpsi)
- dapat menghamburkan cahaya (efek Tyndall)
- dapat bergerak zig-zag (gerak Brown)
- bermuatan (+) dan (-)

Jadi, jawabannya benar semua (E).

SPMB 2005

bertahan sangat lama. Sol emas yang dibuat oleh Michael Faraday pada 1857 sampai saat ini masih berupa sol emas dan disimpan di museum London.

Koloid hidrofob bersifat tidak dapat balik (irreversible). Jika koloid hidrofob mengalami dehidrasi (kehilangan air), koloid tersebut tidak dapat kembali ke keadaan semula walaupun ditambahkan air.

Sejumlah kecil gelatin atau koloid hidrofil sering ditambahkan ke dalam sol logam yang bertujuan untuk melindungi atau menstabilkan koloid logam tersebut. Koloid hidrofil yang dapat menstabilkan koloid hidrofob disebut koloid protektif atau koloid pelindung.

Koloid protektif bertindak melindungi muatan partikel koloid dengan cara melapisinya agar terhindar dari koagulasi. Protein kasein bertindak sebagai koloid protektif dalam air susu. Gelatin digunakan sebagai koloid pelindung dalam es krim untuk menjaga agar tidak membentuk es batu.

#### b. Jelifikasi (Gelatinasi)

Pada kondisi tertentu, sol dari koloid liofil dapat mengalami pemekatan dan berubah menjadi material dengan massa lebih rapat, disebut jeli. Proses pembentukan jeli disebut jelifikasi atau gelatinasi. Contoh dari proses ini, yaitu pada pembuatan kue dari bahan agar-agar, kanji, atau silikagel.

Untuk memahami jeli, Anda dapat melakukan kegiatan berikut.



## Aktivitas Kimia 9.1

### Jelifikasi

Tujuan

Mengamati proses pembentukan jeli.

Alat

- Gelas
- Sendok makan
- Panci
- Kompas

Bahan

- Kanji atau agar-agar
- Air

Langkah Kerja

- Sediakan kanji atau agar-agar, kemudian masukkan ke dalam panci berisi air dan aduk.
- Panaskan campuran sampai mendidih. Pindahkan ke dalam gelas dan biarkan campuran hingga dingin kembali. Amati perubahan yang terjadi.

Pertanyaan

Apakah yang terjadi pada campuran ketika dilarutkan dalam air dingin, pada keadaan panas, dan setelah dingin kembali? Diskusikan hasilnya dengan teman kelompok Anda.

Pembentukan jeli terjadi akibat molekul-molekul bergabung membentuk rantai panjang. Rantai ini menyebabkan terbentuknya ruang-ruang kosong yang dapat diisi oleh cairan atau medium pendispersi sehingga cairan terjebak dalam jaringan rantai. Peristiwa medium pendispersi terjebak di antara jaringan rantai pada jeli ini dinamakan swelling.

Pembentukan jeli bergantung pada suhu dan konsentrasi zat. Pada suhu tinggi, agar-agar sukar mengeras, sedangkan pada suhu rendah akan memadat. Pembentukan jeli juga menuntut konsentrasi tinggi agar seluruh pelarut dapat terjebak dalam jaringan.

Kepadatan jeli bergantung pada zat yang didispersikan. Silikagel yang mengandung medium air sekitar 95% membentuk cairan kental seperti lendir. Jika kandungan airnya lebih rendah sekitar 90% maka akan lebih padat dan dapat dipotong dengan pisau.

Jika jeli dibiarkan, volumenya akan berkurang akibat cairannya keluar. Gejala ini dinamakan sinersis. Peristiwa sinersis dapat diamati pada agar-agar yang dibiarkan lama. Jeli dapat dikeringkan sampai kerangkanya keras dan dapat membentuk kristal padat atau serbuk. Jeli seperti ini mengandung banyak pori dan memiliki kemampuan mengabsorpsi zat lain.

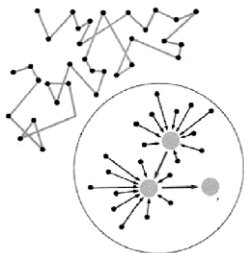
Silikagel dibuat dengan cara dikeringkan sampai mengkristal. Silikagel digunakan sebagai pengering udara, seperti pada makanan kaleng, alat-alat elektronik, dan yang lainnya.

### 3. Sifat-Sifat Koloid

Suatu larutan digolongkan ke dalam sistem koloid jika memiliki sifat-sifat yang berbeda dengan larutan sejati. Beberapa sifat fisika yang membedakan sistem koloid dari larutan sejati, di antaranya:

#### a. Gerak Brown

Jika mikroskop optik diarahkan pada suatu dispersi koloid dengan arah tegak lurus terhadap berkas cahaya yang dilewatkan maka akan tampak partikel-partikel koloid. Akan tetapi, partikel yang tampak bukan sebagai partikel dengan bentuk yang tegas melainkan titik-titik terang. Dengan mengikuti gerakan titik-titik cahaya, Anda dapat melihat bahwa partikel koloid bergerak terus menerus secara acak menurut jalan yang zig-zag. Gerakan acak partikel koloid dalam suatu medium disebut gerak Brown.



Robert Brown tidak dapat menjelaskan mengapa partikel koloid dapat bergerak acak dan berliku. Akhirnya, pada 1905, gerakan seperti itu dijelaskan secara matematika oleh Albert Einstein. Einstein menunjukkan bahwa partikel yang bergerak dalam suatu medium akan menunjukkan suatu gerakan acak seperti gerak Brown akibat tumbukan antarpartikel yang tidak merata (lihat Gambar 9.6).

#### b. Efek Tyndall

Untuk mengetahui efek Tyndall pada sistem koloid, lakukanlah pembuktian berikut.



## Aktivitas Kimia 9.2

### Efek Tyndall

Tujuan

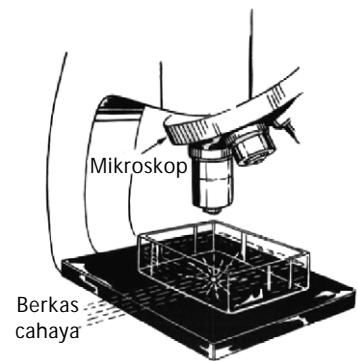
Mengamati efek Tyndall.

Alat

1. gelas kimia
2. senter

## Kata Kunci

- Swelling
- Gerak Brown
- Efek Tyndall
- Adsorpsi



Sumber: Sougou Kagashi

Gambar 9.5

Pengamatan gerak Brown dari partikel koloid

Gambar 9.6

Gerak Brown terjadi akibat tumbukan antarpartikel koloid dengan partikel pelarut atau dengan partikel koloid lain.



## Sekilas Kimia

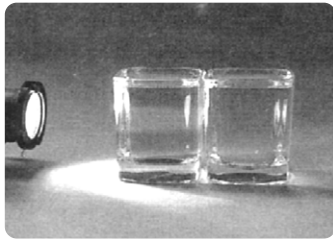
Robert Brown  
(1773–1858)



Sumber: www.anbg.gov

Robert Brown dilahirkan di Montrose, Skotlandia pada 21 Desember 1773. Brown adalah seorang pakar botani Inggris yang mengemukakan gerak acak partikel koloid dalam suatu medium, yang dikenal dengan gerak Brown.





Sumber: Sougou Kagashi

**Gambar 9.7**  
Penyelidikan efek Tyndall di dalam koloid

#### Bahan

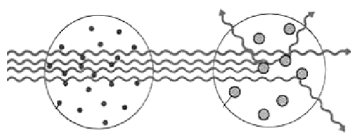
1. Larutan NaOH 0,5 M
2. Alkohol 60%
3. Larutan kanji 0,1%
4. Air teh
5. Air sabun
6. Minuman kaleng bersoda

#### Langkah Kerja

1. Masukkan masing-masing larutan berikut ke dalam gelas kimia: larutan NaOH 0,5 M, alkohol 60%, larutan kanji 0,1%, air teh, air sabun, dan minuman kaleng bersoda.
2. Simpan semua larutan tersebut di tempat yang gelap, kemudian sinari dengan lampu senter.
3. Amati berkas cahaya lampu senter di dalam larutan.

#### Pertanyaan

1. Manakah larutan yang tembus cahaya dan yang menghamburkan cahaya?
2. Manakah larutan yang tergolong koloid? Mengapa larutan koloid dapat menghamburkan cahaya senter?



**Gambar 9.8**  
Model efek Tyndall

Berdasarkan percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa ada larutan yang dapat ditembus oleh cahaya. Disamping itu, ada juga yang tidak dapat ditembus cahaya, tetapi menghamburkan cahaya sehingga berkas cahaya tampak dalam medium. Mengapa berkas cahaya dapat terlihat di dalam koloid? Perhatikan Gambar 9.7, hal ini berkaitan dengan ukuran partikel yang terdispersi di dalam medium koloid. Ukuran partikel koloid relatif besar dibandingkan larutan sejati sehingga dapat memantulkan cahaya yang jatuh padanya.

Ketika cahaya senter dilewatkan ke dalam sistem koloid maka cahaya tersebut akan dipantulkan oleh partikel-partikel koloid ke segala arah sehingga tampak sebagai hamburan cahaya (lihat Gambar 9.8). Gejala pemantulan cahaya oleh partikel koloid dinamakan efek Tyndall. Dengan demikian, efek Tyndall dapat digunakan sebagai petunjuk untuk membedakan sistem koloid dan larutan sejati.

Air dan minyak zaitun, masing-masing dapat tembus cahaya, tetapi jika keduanya dicampurkan akan terbentuk sistem koloid seperti susu. Campuran ini dapat menghamburkan cahaya.

#### c. Adsorpsi

Zat-zat yang terdispersi dalam sistem koloid dapat memiliki sifat listrik pada permukaannya. Sifat ini menimbulkan gaya an der Waals bahkan ikatan valensi yang dapat mengikat partikel-partikel zat asing.

Gejala penempelan zat asing pada permukaan partikel koloid disebut adsorpsi. Zat-zat teradsorpsi dapat terikat kuat membentuk lapisan yang tebalnya tidak lebih dari satu atau dua lapisan partikel.

Jika permukaan partikel koloid mengadsorpsi suatu anion maka koloid akan bermuatan negatif. Jika permukaan partikel koloid mengadsorpsi suatu kation maka koloid akan bermuatan positif. Jika yang diadsorpsi partikel netral, koloid akan bersifat netral.

Oleh karena kemampuan partikel koloid dapat mengadsorpsi partikel lain maka sistem koloid dapat membentuk agregat sangat besar berupa jaringan, seperti pada jel. Sebaliknya, agregat yang besar dapat dipecah menjadi agregat kecil-kecil seperti pada sol.



Absorpsi berbeda dengan adsorpsi. Adsorpsi hanya menempel pada permukaan, sedangkan absorpsi merembes sampai ke bagian dalam absorben.

Absorption differs from adsorption. Adsorption refers to adherence to a surface while absorption means passage into the interior.

## Contoh 9.1

### Sifat Koloid di Alam

Mengapa pada siang hari di dalam rumah cukup terang padahal cahaya matahari tidak masuk ke dalam rumah?

Jawab:

Pada siang hari, sinar matahari menyinari bumi dan oleh bumi dipantulkan kembali sesuai aturan nelius (cahaya yang datang akan dipantulkan dengan sudut pantul sama dengan sudut datang).

Akibat adanya partikel-partikel debu di udara sekitar rumah, sinar matahari akan dipantulkan oleh partikel debu ke segala arah. Selain itu, partikel debu bergerak secara acak, memungkinkan sinar matahari dipantulkan semakin acak. Di dalam rumah yang tidak langsung terkena cahaya matahari akan terang sebagai dampak dari pantulan cahaya matahari oleh partikel debu di udara.

### d. Elektroforesis

Oleh karena zat-zat terdispersi dalam sistem koloid dapat memiliki muatan listrik maka zat tersebut dalam medan listrik dapat bergerak ke arah elektrode yang berlawanan muatan. Migrasi partikel koloid dalam medan listrik disebut peristiwa elektroforesis.

Elektroforesis banyak digunakan dalam industri, misalnya pelapisan antikatrat (cat) pada badan mobil. Partikel-partikel cat yang bermuatan listrik dioleskan pada badan mobil yang dialiri muatan listrik berlawanan dengan muatan cat. Pelapisan logam dengan cat secara elektroforesis lebih kuat dibandingkan cara konvensional seperti pakai kuas.

### e. Dialisis

Dialisis adalah suatu teknik pemurnian koloid yang didasarkan pada perbedaan ukuran partikel-partikel koloid. Dialisis dilakukan dengan cara menempatkan dispersi koloid dalam kantong yang terbuat dari membran semipermeabel, seperti kertas selofan dan perkamen. Selanjutnya merendam kantong tersebut dalam air yang mengalir. Oleh karena ion-ion atau molekul memiliki ukuran lebih kecil dari partikel koloid maka ion-ion tersebut dapat pindah melalui membran dan keluar dari sistem koloid. Adapun partikel koloid akan tetap berada di dalam kantong membran.

## Contoh 9.2

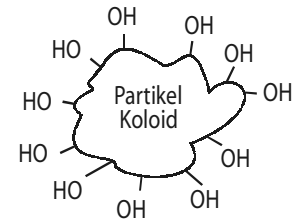
### Penerapan Prinsip Dialisis

Jika Anda berkemah di suatu tempat dan Anda menanak nasi. Sementara itu, di daerah tersebut tidak ada air jernih, hanya ada air sungai yang mengandung lumpur. Apakah yang akan Anda lakukan agar dapat menanak nasi?

Jawab:

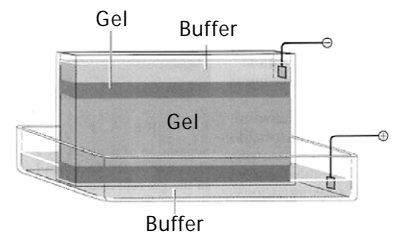
Air sungai yang mengandung lumpur jika disaring akan membutuhkan waktu yang cukup lama. Akan tetapi, jika Anda memahami teknik dialisis maka menanak nasi menjadi mudah.

Beras dimasukkan ke dalam kertas selofan dan dibungkus erat-erat hingga tidak memungkinkan lumpur masuk ke dalam beras. Selanjutnya beras dalam kertas selofan direbus dengan air dari sungai. Kertas selofan merupakan membran yang hanya dapat dilalui oleh partikel berukuran molekul seperti air, sedangkan lumpur yang ukurannya besar tidak dapat menembus membran. Jadi, selama perebusan beras dengan air sungai, lumpurnya akan tetap di luar membran, sedangkan air panas dapat menembus membran dan mematangkan beras.



Gambar 9.9

Partikel koloid mengadsorpsi gugus hidroksil (-OH) sehingga membentuk koloid bermuatan negatif.



Gambar 9.10

Set alat elektroforesis

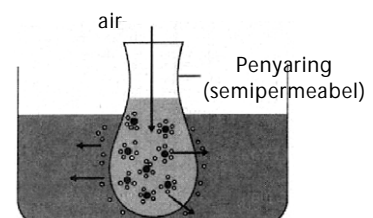


## Sekilas Kimia

### Membersihkan Darah

Proses dialisis dapat dimanfaatkan untuk membersihkan darah. Proses dialisis dipakai pada pencucian darah, yang lebih populer sebagai hemodialisis.

Darah dipompa dan dialirkan melalui tabung dialisis selofan. Di dalam tabung tersebut, terdapat larutan yang telah diformulasikan sehingga memiliki kandungan komponen yang sama dengan plasma darah, yaitu glukosa, NaCl, NaHCO<sub>3</sub>, dan KCl. Konsentrasi senyawa-senyawa tersebut memiliki kesamaan dengan yang terkandung dalam darah sehingga tidak akan mengalir menembus membran selofan.



Gambar 9.11

Teknik dialisis biasa digunakan untuk memisahkan tepung tapioka dari ion-ion sianida yang terkandung dalam singkong.

Kerjakanlah dalam buku latihan.

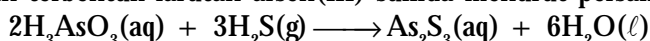
1. Manakah di antara campuran berikut yang termasuk sistem koloid: (a) kecap; (b) sirup; (c) minuman soda; (d) air tajin.
2. Sebutkan fasa zat terdispersi dan medium pendispersi dari koloid berikut. (a) detergen; (b) jelaga; (c) es krim; (d) semir.
3. Mengapa sirup obat batuk sebelum diminum harus dikocok terlebih dahulu?
4. Dapatkah koloid hidrofob dijadikan jeli? Bagaimanakah proses sinersis pada jeli?
5. Manakah di antara koloid berikut yang tergolong koloid hidrofil? (a) kecap; (b) tinta printer; (c) mentega; (d) pylox.
6. Di dalam kaleng biskuit sering ditambahkan silikagel (dibungkus dalam bentuk granula). Apakah kegunaan silikagel tersebut?
7. Mengapa campuran koloid umumnya memberikan warna, tidak seperti larutan yang sering tidak berwarna? Jelaskan.
8. Mengapa partikel debu dapat menempel di kaca dan perabotan rumah lainnya?
9. Asam amino adalah suatu molekul pembentuk protein. Asam amino ada yang bermuatan positif, negatif, dan netral pada pH tertentu. Bagaimanakah memisahkan asam-asam amino dengan cara elektroforesis?
10. Di dalam makanan terkandung protein, lemak, dan karbohidrat. Protein dan karbohidrat adalah suatu makromolekul yang jauh lebih besar dari lemak. Dapatkah lemak dipisahkan dari makanan agar makanan tersebut memiliki kadar lemak rendah?

## B. Kestabilan Koloid

Sistem koloid pada dasarnya stabil selama tidak ada gangguan dari luar. Kestabilan koloid bergantung pada macam zat terdispersi dan mediumnya. Ada koloid yang sangat stabil, ada juga koloid yang kestabilannya rendah. Koloid-koloid yang stabil dapat menjadi suspensi atau larutan sejati jika diganggu.

### 1. Kestabilan Koloid

Kestabilan koloid pada umumnya disebabkan oleh adanya muatan listrik pada permukaan partikel koloid, akibat mengadsorpsi ion-ion dari medium pendispersi. Jika larutan asam arsenat direaksikan dengan gas  $H_2S$ , akan terbentuk larutan arsen(III) sulfida menurut persamaan:



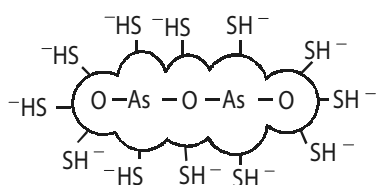
Oleh karena  $H_2S$  dalam air dapat terionisasi membentuk ion  $H^+$  dan ion  $HS^-$ , arsen(III) sulfida memiliki kemampuan mengadsorpsi ion  $HS^-$ . Oleh karenanya, pada kondisi tertentu larutan  $As_2S_3$  akan membentuk koloid bermuatan negatif berupa sol arsen(III) sulfida (Gambar 9.12).

Mengapa sol  $As_2S_3$  bersifat stabil? Hal ini disebabkan partikel-partikel koloid yang terbentuk bermuatan sejenis, yakni muatan negatif. Menurut konsep fisika, muatan sejenis akan saling tolak-menolak sehingga partikel-partikel  $As_2S_3$  tidak pernah berkoagulasi menjadi endapan.

Contoh yang lain, misalnya  $Fe(OH)_3$  dilarutkan ke dalam air membentuk larutan besi(III) hidroksida. Molekul  $Fe(OH)_3$  kurang larut dalam air. Akan tetapi, di dalam air, molekul tersebut dapat mengadsorpsi ion-ion  $Fe^{3+}$  dari medium sehingga molekul  $Fe(OH)_3$  menjadi sol  $Fe(OH)_3$  yang bermuatan positif dan sangat stabil (lihat Gambar 9.13).

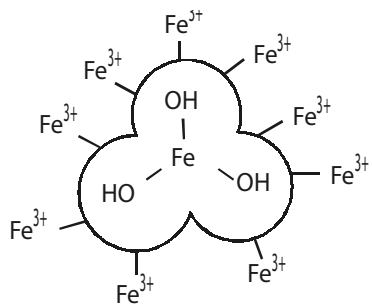
### 2. Destabilisasi Koloid

Oleh karena kestabilan koloid disebabkan oleh muatan listrik pada permukaan partikel koloid maka penetralan muatan partikel koloid dapat menurunkan bahkan menghilangkan kestabilan koloid. Penetralan



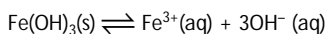
Gambar 9.12

$As_2S_3$  membentuk koloid bermuatan negatif berupa sol arsen(III) sulfida.



Gambar 9.13

Di dalam air,  $Fe(OH)_3$  membentuk kesetimbangan:



muatan partikel koloid menyebabkan bergabungnya partikel-partikel koloid menjadi suatu agregat sangat besar dan mengendap, akibat adanya gaya kohesi antarpartikel koloid.

Proses pembentukan agregat dari partikel-partikel koloid hingga menjadi berukuran suspensi kasar dinamakan koagulasi atau penggumpalan dispersi koloid. Untuk membuktikan fenomena ini, Anda dapat melakukan kegiatan berikut.



### Aktivitas Kimia 9.3

#### Destabilisasi Koloid

##### Tujuan

Mengamati proses destabilisasi koloid.

##### Alat

1. Gelas kimia 500 mL
2. Batang pengaduk

##### Bahan

1. Air sumur/kolam/sungai
2. Tawas atau PAC (polialuminium klorida)

##### Langkah Kerja

1. Ambil air tanah atau air permukaan lainnya (air sumur, kolam, atau air sungai). Masukkan ke dalam gelas kimia 500 mL.
2. Tambahkan 0,5 gram tawas atau PAC (polialuminium klorida), kocok sebentar dan amati perubahan yang terjadi.

##### Pertanyaan

1. Tuliskan rumus kimia tawas. Ion-ion apakah yang terdapat dalam tawas?
2. Apakah yang dapat Anda simpulkan dari percobaan ini?

Penetralan muatan koloid dapat dilakukan dengan cara menambahkan zat-zat elektrolit ke dalam sistem koloid, seperti ion-ion  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , dan  $\text{Al}^{3+}$ .

Kecepatan koagulasi bergantung pada jumlah muatan elektrolit. Makin besar muatan elektrolit, makin cepat proses koagulasi terjadi. Penambahan ion  $\text{Al}^{3+}$  ke dalam sistem koloid yang bermuatan negatif, seperti sol  $\text{As}_2\text{O}_3$  lebih cepat dibandingkan dengan ion  $\text{Mg}^{2+}$  atau ion  $\text{Na}^+$ .

Gejala koagulasi pada dispersi koloid dengan cara penetralan muatan koloid dapat dilihat pada pembentukan delta di muara sungai yang menuju laut. Pembentukan delta di muara sungai disebabkan oleh koagulasi lumpur yang bermuatan negatif oleh zat-zat elektrolit dalam air laut, seperti ion-ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ .

Ketika lumpur tersebut sampai di muara (pertemuan sungai dan laut), di laut sudah tersedia ion-ion seperti  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ . Akibatnya, lumpur kehilangan muatannya dan beragregat satu dengan lainnya membentuk delta. Proses koagulasi dispersi koloid bermanfaat bagi manusia, terutama pada penjernihan air dan penyaringan udara (Gambar 9.14).

Pengolahan air minum pada prinsipnya memanfaatkan sifat-sifat koloid untuk memperoleh air bersih dari air sungai (Perhatikan Gambar 9.15). Prosesnya adalah sebagai berikut.

- a) Air sungai dialirkan melewati bak screen untuk memisahkan air dari sampah menuju bak homogenisasi.
- b) Pada bak homogenisasi, air sungai dihomogenkan dengan cara diaduk dan ditambahkan kapur serta besi(II) sulfat untuk mengendapkan limbah logam-logam berat.



### Sekilas Kimia

Pengolahan Air Minum Cikokol, Kabupaten Tangerang

Pabrik Pengolahan Air Cikokol adalah salah satu dari 14 pabrik pengolahan air yang dimiliki Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) di Kabupaten Tangerang. Pabrik ini memiliki kemampuan untuk mengolah 1.100 liter per detik air mentah menjadi 1.000 liter per detik air minum. PDAM ini juga melayani sekitar 350.000 pelanggan di kota Tangerang, Kabupaten Tangerang, dan Jakarta.

Saat ini, Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Tangerang menjalankan program peningkatan kapasitas pengolahan air menjadi 1.575 liter per detik air minum. Program peningkatan tersebut di antaranya meliputi proses di dalam unit koagulasi, flokulasi, dan tangki sedimentasi (pengendapan). Pada unit koagulasi, suspensi padatan dipindahkan dari buangan pengolahan. Prosesnya dilakukan secara biologi dan koagulasi.

Sumber: [www.petrosa.com](http://www.petrosa.com); [menlh.go.id](http://menlh.go.id)



Gambar 9.14

Proses koagulasi koloid yang bermuatan listrik

## Kata Kunci

- Kestabilan koloid
- Destabilisasi koloid
- Koagulasi

Gambar 9.15

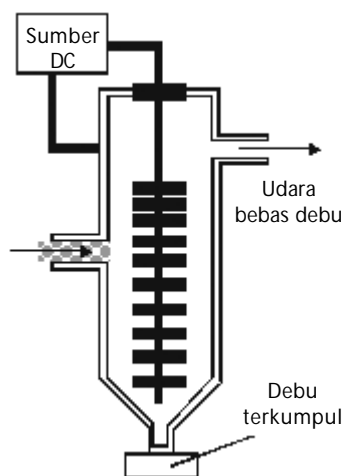
Diagram alir proses pengolahan air minum di PDAM



Sumber: Sougou Kagashi

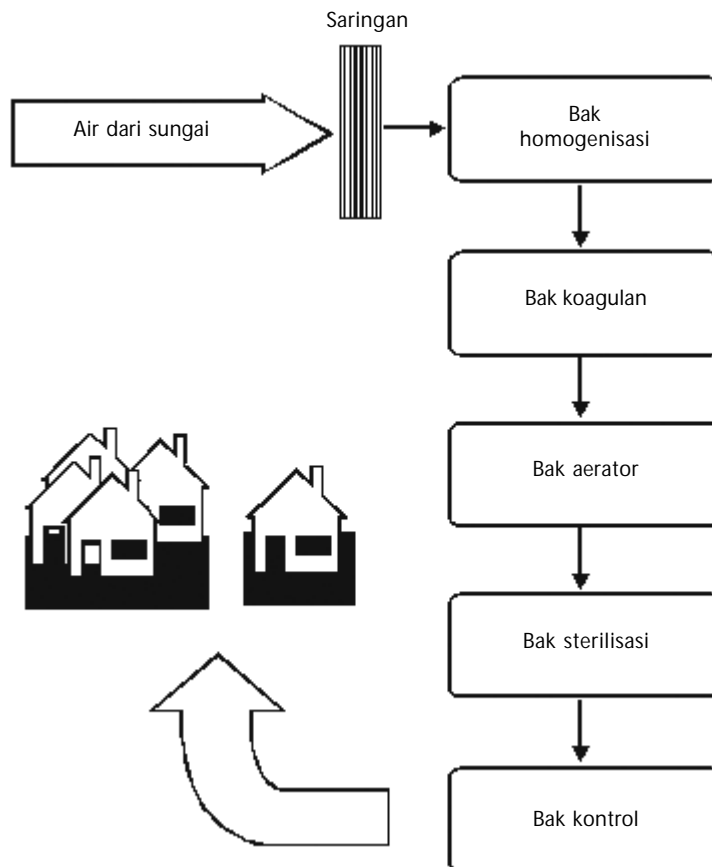
Gambar 9.16

Laguna dapat berperan sebagai penjernihan air secara alami.



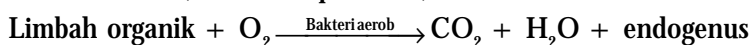
Gambar 9.17

Alat pengendap Cottrell



c) Pada bak koagulan, air sungai yang sudah bebas dari logam-logam berat ditambah tawas atau PAC untuk mengendapkan lumpur dan limbah anorganik lainnya. Selanjutnya, air dialirkan ke dalam bak aeorator.

d) Pada bak aerator, air sungai diaerasi untuk menghilangkan limbah organik (protein, karbohidrat, dan lemak) dengan memanfaatkan bakteri aerob. Pada bak aerator, udara dihembuskan ke dalam air selama lebih kurang 48 jam dan diberi pupuk untuk menyuburkan bakteri aerob (sistem lumpur aktif).



e) Setelah bebas dari limbah organik, air dipindahkan ke dalam bak sterilisasi. Pada bak ini, air dibersihkan dari bakteri yang merugikan dengan menambahkan kaporit. Selanjutnya, air didistribusikan ke konsumen.

Prinsip koagulasi partikel koloid dengan cara penetralan juga dipakai untuk menyaring asap yang dibuang melalui cerobong pabrik. Asap industri dan debu jalanan yang terdiri atas partikel karbon, oksida logam, dan debu dapat diendapkan menggunakan alat yang disebut pengendap Cottrell, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.17.

Asap dan debu dilewatkan ke dalam pengendap Cottrell. Dalam alat tersebut terdapat kisi-kisi elektrode bertegangan tinggi yang dialiri arus listrik searah. Partikel-partikel debu yang bermuatan akan dinetralkan hingga membentuk agregat sangat besar, yang akhirnya mengendap di bagian dasar pengendap Cottrell.



## Contoh 9.3

### Destabilisasi Koloid

Air sumur kadang-kadang berwarna kuning keruh dan tidak dapat disaring. Mengapa? Bagaimana cara menghilangkan warna kuning tersebut?

Jawab:

Di daerah-daerah tertentu terutama perkotaan, air sumur kadang-kadang berwarna kuning, akibat pembentukan sol besi(III) hidroksida.

Untuk menghilangkan warna kuning dari air itu tidak dapat disaring sebab koloid membentuk satu fasa, tetapi dapat dihilangkan dengan menambahkan zat elektrolit seperti tawas atau PAC. Dalam beberapa menit, warna kuning dari sol besi akan mengendap dan dapat dipisahkan dengan cara disaring.

## Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Berapa lamakah sol  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan sol  $\text{As}_2\text{S}_3$  akan tetap sebagai koloid jika tidak ada gangguan dari luar?
2. Bagaimanakah partikel-partikel yang tidak bermuatan dapat membentuk koloid yang stabil, seperti larutan kanji?
3. Mengapa pada air susu akan terjadi endapan jika ditambahkan air jeruk? Jelaskan.
4. Bagaimanakah cara mengembangkan suatu metode yang berbasis alat Cottrell untuk menyaring debu agar tidak masuk ke dalam rumah.

## C. Pembuatan Koloid

Oleh karena ukuran partikel koloid berada pada rentang antara larutan sejati dan suspensi kasar maka sistem koloid dapat diperoleh melalui dua cara, yaitu

1. Pemecahan partikel-partikel besar menjadi partikel berukuran koloid. Cara ini disebut cara dispersi.
2. Pembentukan agregat dari molekul-molekul kecil berukuran larutan menjadi berukuran koloid. Cara ini disebut sebagai cara kondensasi

### 1. Metode secara Dispersi

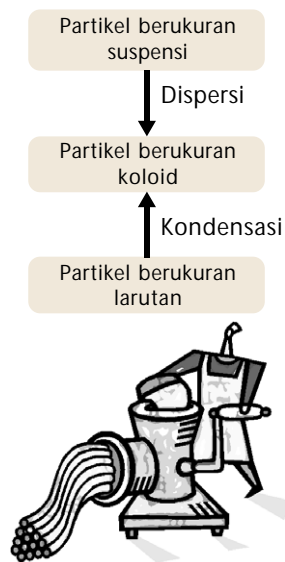
Beberapa metode praktis yang biasa digunakan untuk membuat koloid yang tergolong cara dispersi adalah cara mekanik, cara peptisasi, homogenisasi, dan cara busur listrik redig.

#### a. Cara Mekanik

Zat-zat yang berukuran besar dapat direduksi menjadi partikel berukuran koloid melalui penggilingan, pengadukan, penumbukan, dan penggerusan. Zat-zat yang sudah berukuran koloid selanjutnya didispersikan ke dalam medium pendispersi.

Cara mekanik, contohnya penggilingan kacang kedelai pada pembuatan tahu dan kecap. Pembuatan cat di industri, caranya bahan cat digiling kemudian didispersikan ke dalam medium pendispersi, seperti air.

Teknik penumbukan dan pengadukan banyak digunakan dalam pembuatan makanan, seperti kue tart dan mayones. Kuning telur, margarin, dan gula pasir yang sudah dihaluskan, kemudian dicampurkan dan diaduk menjadi koloid.



Gambar 9.18

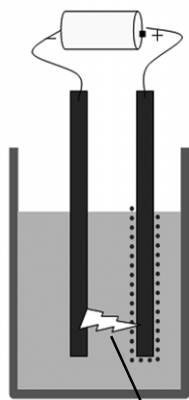
Alat untuk membuat koloid dengan cara mekanik.



## Kegiatan Inkuiri



Lakukanlah studi lapangan pembuatan kecap atau tahu. Simpulkan cara yang diterapkan untuk pembuatan kecap atau tahu tersebut.



Bunga api listrik

Gambar 9.19

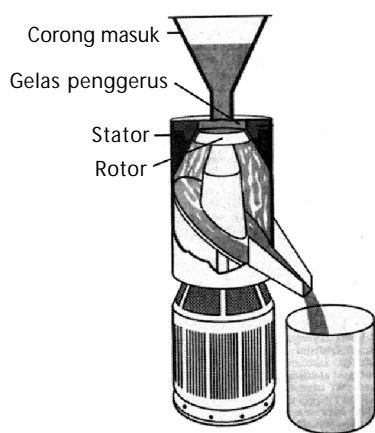
Cara busur listrik Bredig

### b. Cara Busur Listrik Bredig

Arus listrik bertegangan tinggi dialirkan melalui dua buah elektrode logam (bahan terdispersi). Kemudian, kedua elektrode itu dicelupkan ke dalam air hingga kedua ujung elektrode itu hampir bersentuhan agar terjadi loncatan bunga api listrik. Loncatan bunga api listrik mengakibatkan bahan elektrode teruapkan membentuk atom-atomnya dan larut di dalam medium pendispersi membentuk sol. Perhatikan Gambar 9.19, logam-logam yang dapat membentuk sol dengan cara ini adalah platina, emas, dan perak.

### c. Cara Peptisasi

Dispersi koloid dapat juga diperoleh dari suspensi kasar dengan cara memecah partikel-partikel suspensi secara kimia. Kemudian, menambahkan ion-ion sejenis yang dapat diadsorpsi oleh partikel-partikel koloid sampai koloid menjadi stabil. Koagulasi agregat-agregat yang telah membentuk partikel-partikel berukuran koloid dapat dihambat karena adanya ion-ion yang teradsorpsi pada permukaan partikel koloid (Gambar 9.20). Contohnya, tanah lempung pecah menjadi partikel-partikel berukuran koloid jika ditambah NaOH dan akan menjadi koloid jika didispersikan ke dalam air. Partikel-partikel silikat dari tanah lempung akan mengadsorpsi ion-ion OH<sup>-</sup> dan terbentuk koloid bermuatan negatif yang stabil.



Gambar 9.20

Alat penggerus dan penghomogen partikel kasar menjadi partikel berukuran koloid.

### d. Cara Homogenisasi

Pembuatan koloid jenis emulsi dapat dilakukan dengan menggunakan mesin penghomogen sampai berukuran koloid. Cara ini digunakan pada pembuatan susu. Partikel lemak dari susu diperkecil sampai berukuran koloid dengan cara melewati lubang berpori dengan tekanan tinggi. Jika ukuran partikel sudah sesuai ukuran koloid, selanjutnya didispersikan ke dalam medium pendispersi.

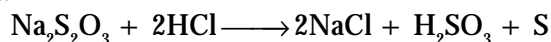
## 2. Metode secara Kondensasi

Ion-ion atau molekul yang berukuran sangat kecil (berukuran larutan sejati) diperbesar menjadi partikel-partikel berukuran koloid. Dengan kata lain, larutan sejati diubah menjadi dispersi koloid.

Pembentukan kabut dan awan di udara merupakan contoh pembentukan aerosol cair melalui kondensasi molekul-molekul air membentuk kerumunan (cluster). Cara kondensasi umumnya dilakukan melalui reaksi kimia. Tiga macam reaksi yang dapat menghasilkan kondensasi adalah reaksi hidrolisis, reaksi redoks, dan reaksi metatesis.

### a. Reaksi Metatesis

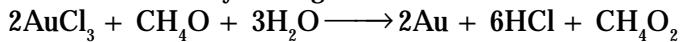
Apabila ke dalam larutan natrium tiosulfat ditambahkan larutan asam klorida akan terbentuk partikel berukuran koloid. Persamaan reaksinya sebagai berikut.



Partikel berukuran koloid terbentuk akibat belerang beragregat sampai berukuran koloid membentuk sol belerang. Jika konsentrasi pereaksi dan suhu reaksi tidak dikendalikan, dispersi koloid tidak akan terbentuk sebab partikel belerang akan tumbuh terus menjadi suspensi kasar dan mengendap.

b. Reaksi Redoks

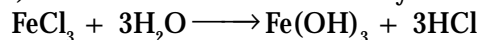
Sol emas dapat diperoleh melalui reduksi emas(III) klorida dengan formalin. Persamaan reaksinya sebagai berikut.



Awalnya emas terbentuk dalam keadaan atom-atom bebas, kemudian beragregat menjadi berukuran partikel koloid. Partikel koloid distabilkan oleh ion-ion  $\text{OH}^-$  yang teradsorpsi pada permukaan partikel koloid. Ion-ion  $\text{OH}^-$  ini berasal dari ionisasi air.

c. Reaksi Hidrolisis

Besi(III) klorida jika dilarutkan dalam air akan mengionisasi air membentuk ion  $\text{OH}^-$  dan  $\text{H}^+$ . Ion-ion  $\text{OH}^-$  bereaksi dengan besi(III) klorida membentuk besi(III) hidroksida. Persamaan reaksinya sebagai berikut.

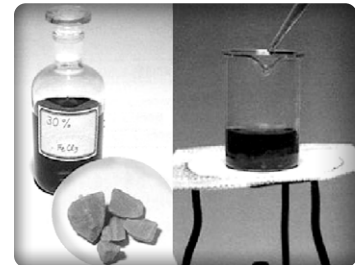


Ukuran partikel-partikel  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang terbentuk lebih besar dari ukuran larutan sejati, tetapi tidak cukup besar untuk mengendap. Selain itu, koloid  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang terbentuk distabilkan dengan mengadsorpsi ion-ion  $\text{Fe}^{3+}$  dari larutan.

3. Pengubahan Medium Pendispersi

Kondensasi dapat terjadi jika kelarutan zat dikurangi dengan cara mengubah pelarut. Contoh, jika larutan belerang jenuh dalam etanol dituangkan ke dalam air, akan terbentuk sol belerang. Hal ini akibat terjadinya penurunan kelarutan belerang dalam campuran air-etanol.

Pembentukan larutan koloid dengan cara mengurangi kelarutan dapat diamati pada saat air ditambahkan ke dalam larutan yang mengandung indikator fenolftalein. Akibatnya, akan terbentuk koloid yang berwarna putih seperti susu.



Sumber: Sougou Kagashi

Gambar 9.21  
Hidrolisis besi(III) klorida

Kata Kunci

- Cara dispersi
- Cara kondensasi

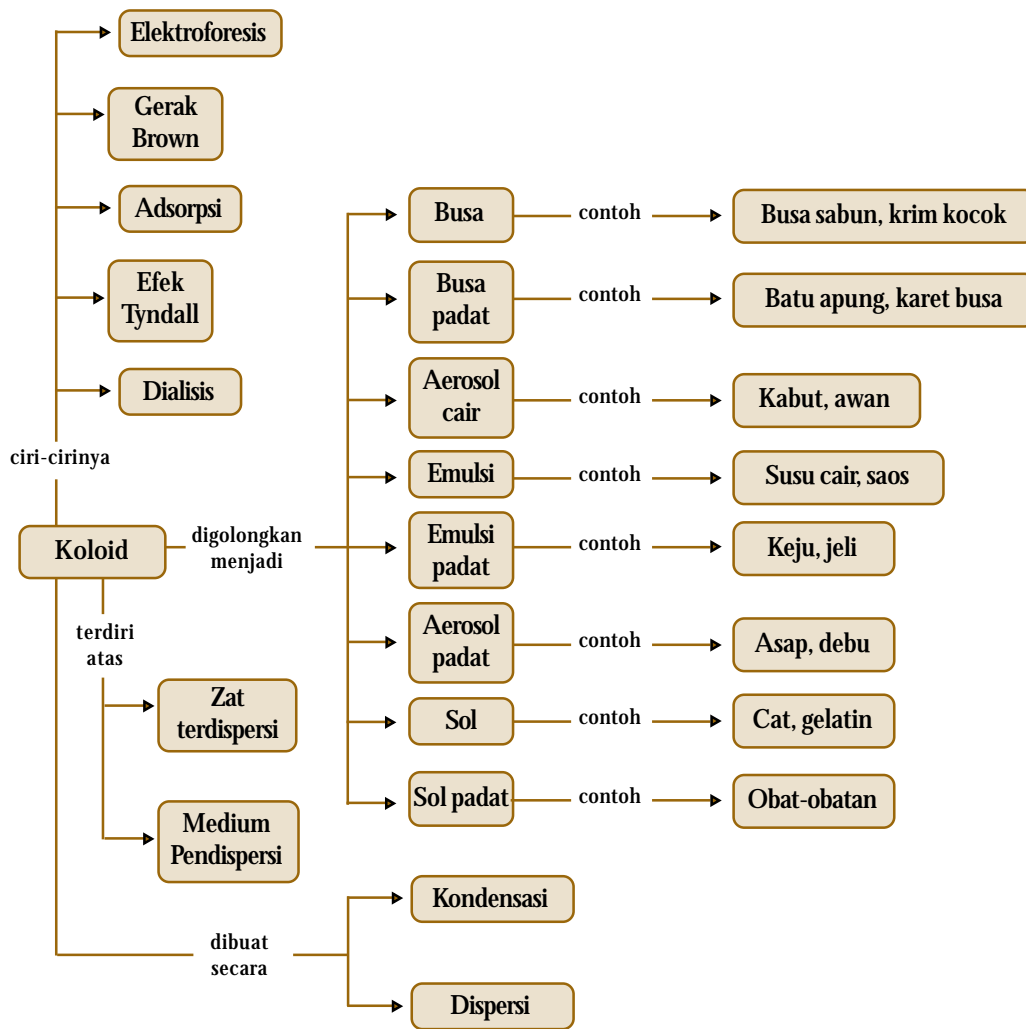
Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah dalam buku latihan.

1. Untuk membuat sayur atau kuah, bumbu dapur digerus sampai halus selanjutnya dituangkan ke dalam air mendidih, dan kuah yang terbentuk membentuk koloid. Tergolong cara apakah ini?
2. Mengapa mesin kendaraan bermotor sering mengeluarkan asap putih kehitaman (aerosol padat). Jelaskan bagaimana pembentukan asap dalam blok mesin dihubungkan dengan kerja busi.
3. Faktor-faktor apakah yang menyebabkan uap air dapat menjadi awan di atmosfer dan kabut di daerah pegunungan tinggi?
4. Indikator fenolftalein (PP) di dalam air membentuk larutan, tetapi jika konsentrasi PP cukup besar terbentuk larutan berwarna putih seperti susu. Peristiwa apakah yang terjadi?
5. Jika larutan  $\text{AgNO}_3$  dicampurkan dengan larutan  $\text{NaCl}$  akan terbentuk endapan  $\text{AgCl}$ . Persamaan kimianya:  
 $\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{NaCl}(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s}) + \text{NaNO}_3(\text{aq})$   
Jika  $\text{NaCl}$  yang ditambahkan berlebih terbentuk larutan berwarna putih seperti susu. Mengapa hal ini dapat terjadi? Jelaskan.

## Rangkuman

1. Berdasarkan ukuran, sistem koloid memiliki ukuran partikel terdispersi lebih kecil dari suspensi kasar tetapi lebih besar dari larutan sejati.
2. Dalam sistem koloid, zat yang tersebar dalam medium koloid dinamakan fasa terdispersi dan medium untuk mendispersikan partikel-partikel koloid disebut pendispersi.
3. Berdasarkan fasa terdispersi dan medium pendispersi, dikenal delapan jenis koloid, yaitu busa; busa padat; aerosol cair; emulsi; emulsi padat; aerosol padat; sol; dan sol padat.
4. Berdasarkan ketertarikannya terhadap medium, koloid digolongkan ke dalam dua macam yaitu koloid liofob yang kestabilannya sangat rendah, dan koloid liofil yang kestabilannya tinggi. Liofob berasal dari bahasa latin yang artinya menolak pelarut, sedangkan liofil berarti menyukai pelarut.
5. Koloid hidrofil sering ditambahkan ke dalam koloid hidrofob, bertujuan untuk melindungi atau menstabilkan koloid tersebut. Koloid hidrofil yang dapat menstabilkan koloid hidrofob disebut koloid protektif atau koloid pelindung.
6. Pada kondisi tertentu, sol dari berbagai koloid liofil dapat mengalami koagulasi dan berubah menjadi material dengan massa lebih rapat, yang disebut jeli. Proses pembentukan jeli dinamakan jelifikasi atau gelatinasi.
7. Terdapat beberapa sifat koloid yang khas, yaitu efek Tyndall, gerak Brown, adsorpsi, dialisis, dan elektroforesis.
8. Efek Tyndall adalah peristiwa penghamburan cahaya oleh partikel koloid.
9. Gerak brown adalah gerakan acak dari partikel-partikel koloid dalam mediumnya.
10. Adsorpsi adalah kemampuan partikel koloid untuk menyerap ion pada permukaan membentuk partikel bermuatan.
11. Akibat adanya muatan listrik pada partikel koloid, partikel koloid dapat bergerak dalam medan listrik ke arah kutub yang muatannya berlawanan. Migrasi partikel koloid dalam medan listrik dikenal dengan elektroforesis.
12. Dialisis adalah suatu teknik pemurnian koloid berdasarkan perbedaan ukuran partikelnya.
13. Kestabilan koloid disebabkan oleh adanya muatan listrik pada permukaan partikel koloid. Muatan listrik pada partikel koloid berasal dari ion atau medium yang teradsorpsi pada permukaan partikel koloid.
14. Kestabilan koloid dapat dihilangkan dengan cara menetralkan muatan partikel koloid. Peristiwa ini dinamakan koagulasi atau penggumpalan dispersi koloid.
15. Sistem koloid dapat dibuat melalui dua cara, yaitu:
  - a. Pemecahan partikel-partikel besar menjadi partikel berukuran koloid. Cara ini disebut cara dispersi.
  - b. Pembentukan agregat dari molekul-molekul kecil pembentuk larutan menjadi berukuran koloid. Cara ini disebut sebagai cara kondensasi.
16. Beberapa metode praktis yang biasa digunakan untuk membuat koloid dan tergolong cara dispersi adalah cara mekanik, cara peptisasi, homogenisasi, dan cara busur listrik Bredig.
17. Cara kondensasi umumnya dilakukan melalui reaksi kimia. Tiga macam reaksi yang dapat menghasilkan kondensasi adalah reaksi hidrolisis, reaksi redoks, dan reaksi metatesis.



## Refleksi

Pada bab ini Anda telah mempelajari sistem koloid dan penggolongannya berdasarkan fasa terdispersi dan medium pendispersi. Kemudian, Anda juga telah dapat mendeskripsikan sifat-sifat koloid yang ada di lingkungan sekitar Anda.

Selain itu, pada bab ini telah dipelajari mengenai kestabilan dan ketidakstabilan koloid, dan faktor apa saja yang memengaruhinya. Pembuatan koloid dapat

dilakukan dengan cara dispersi dan cara kondensasi. Berbagai metode tersebut memiliki fungsi khusus dan memudahkan dalam pemanfaatannya.

Sifat-sifat khusus dari koloid dapat dimanfaatkan pada banyak aplikasi, di antaranya untuk pengolahan air minum, dan penyaring asap pabrik.

Sebutkan manfaat lainnya yang Anda ketahui dari mempelajari koloid ini?

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.
- Sifat umum koloid sebagai berikut, kecuali
    - membentuk dua fasa
    - campurannya homogen
    - sukar diendapkan
    - tidak dapat dipisahkan dengan saringan
    - bersifat stabil
  - Partikel koloid memiliki ukuran ....
    - lebih besar dari  $10^{-3}$  cm
    - antara  $10^{-3}$  cm dan  $10^{-5}$  cm
    - antara  $10^{-5}$  cm dan  $10^{-7}$  cm
    - antara  $10^{-7}$  cm dan  $10^{-9}$  cm
    - lebih kecil dari  $10^{-9}$  cm
  - Ebtanas 2000:  
Di antara zat berikut yang bukan merupakan sistem koloid adalah ....
    - asap
    - kabut
    - darah
    - debu
    - udara
  - Di antara sistem koloid yang zat terdispersinya padat dalam gas adalah ....
    - kabut
    - busa
    - asap
    - embun
    - emulsi
  - Ebtanas 1996:  
Salah satu contoh emulsi yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah ....
    - kabut
    - mutiara
    - santan
    - sabun
    - lem
  - UMPTN 1999/A:  
Air susu merupakan sistem dispersi ....
    - zat padat dalam medium pendispersi cair
    - zat cair dalam medium pendispersi cair
    - zat cair dalam medium pendispersi gas
    - zat padat dalam medium pendispersi padat
    - gas dalam medium pendispersi cair
  - UMPTN 1999/B:  
Sistem koloid berikut yang termasuk golongan aerosol adalah ....
    - susu
    - buih
    - jel
    - kabut
    - tinta
  - Ebtanas 1999:  
Jenis koloid yang fasa terdispersinya cair dan medium pendispersinya padat adalah ....
    - emulsi padat
    - busa padat
    - aerosol
    - sol padat
    - sol
  - Larutan yang memberikan efek Tyndall adalah ....
    - larutan ion
    - larutan molekuler
    - larutan koloid
    - larutan jenuh
    - larutan encer
  - Pemantulan cahaya oleh partikel koloid dikenal sebagai ....
    - efek Tyndall
    - gerak Brown
    - elektroforesis
    - dialisis
    - koagulasi
  - Berikut ini yang memberikan bukti bahwa partikel koloid bermuatan adalah ....
    - efek Tyndall
    - gerak Brown
    - elektroforesis
    - osmosis
    - difusi
  - Gerak Brown disebabkan oleh ....
    - ukuran partikel koloid yang sangat ringan
    - partikel koloid bersifat halus
    - tumbukan antara partikel koloid
    - muatan partikel koloid
    - gaya gravitasi bumi
  - Sifat adsorpsi dari partikel koloid dapat dipakai untuk peristiwa berikut, kecuali ....
    - elektrolisis
    - elektroforesis
    - dialisis
    - koagulasi
    - penggunaan koloid pelindung
  - Koloid dapat menggumpal akibat penambahan zat elektrolit. Peristiwa ini disebut ....
    - koagulasi
    - peptisasi
    - degradasi
    - dekantasi
    - dialisis
  - Peristiwa pergerakan butir-butir koloid di medan listrik disebut ....

- A. elektroforesis  
 B. elektrolisis  
 C. elektrodialisis  
 D. elektroendosmosis  
 E. tak ada yang benar
16. Larutan koloid dapat dimurnikan dengan cara ....  
 A. kristalisasi  
 B. dialisis  
 C. penguapan  
 D. distilasi  
 E. ultra mikroskop
17. Koloid hidrofil adalah koloid yang partikelnya ....  
 A. bersifat netral  
 B. bereaksi dengan alkohol  
 C. bereaksi satu dengan lainnya  
 D. mempunyai afinitas terhadap air  
 E. tidak ada yang benar
18. Sol  $As_2O_3$  adalah koloid hidrofob bermuatan negatif. Larutan yang cocok untuk mengkoagulasi koloid tersebut adalah ....  
 A.  $K_3PO_4$   
 B.  $Fe_2(SO_4)_3$   
 C.  $Na(NO_3)_2$   
 D.  $MgSO_4$   
 E.  $FeSO_4$
19. Di antara senyawa berikut yang paling cepat mengendapkan sistem koloid adalah ....  
 A. NaCl  
 B. KCl  
 C.  $MgCl_2$   
 D.  $AlCl_3$   
 E.  $CaCl_2$
20. Di antara zat-zat berikut yang tidak dapat membentuk koloid liofil jika didispersikan ke dalam air adalah ....  
 A. kanji  
 B. belerang  
 C. gelatin  
 D. sabun  
 E. agar-agar
21. Pembuatan koloid dapat dilakukan dengan cara:  
 1. hidrolisis  
 2. peptisasi  
 3. reaksi redoks  
 4. penggilingan/penggerusan  
 Pembuatan koloid dengan cara kondensasi adalah nomor ....  
 A. 1 dan 2  
 B. 1 dan 3  
 C. 1 dan 4  
 D. 2 dan 3  
 E. 2 dan 4
22. Koloid di bawah ini yang tidak dapat dibuat dengan cara kondensasi adalah ....  
 A. sol belerang  
 B. sol AgCl  
 C. sol  $As_2S_3$   
 D. sol  $Fe(OH)_3$   
 E. sol  $AuCl_3$
23. Salah satu pembuatan koloid dengan cara reaksi hidrolisis adalah ....  
 A.  $Pt \rightarrow sol Pt$   
 B.  $AgCl + Cl^- \rightarrow sol AgCl$   
 C.  $FeCl_3 + H_2O \rightarrow sol Fe(OH)_3$   
 D.  $Na_2S_2O_3 + H^+ \rightarrow sol S$   
 E.  $Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaSO_4 + 2Al(OH)_3$
24. Ebtanas 1998:  
 Berikut merupakan pembuatan koloid:  
 I. Sol  $Al(OH)_3$  dari larutan aluminium klorida dan endapan  $Al(OH)_3$   
 II. Sol  $Fe(OH)_3$  dari larutan besi(III) klorida dan air mendidih  
 III. Sol belerang dari hidrogen sulfida dan gas belerang dioksida  
 I . Tinta dari karbon  
 Pembuatan koloid secara dispersi adalah ....  
 A. I dan II  
 B. I dan III  
 C. I dan I  
 D. II dan III  
 E. III dan I
25. Ebtanas 2000:  
 Pembuatan koloid berikut yang termasuk pembuatan cara dispersi adalah ....  
 A. sol  $As_2S_3$  dibuat dengan mengalirkan gas  $H_2S$  ke dalam larutan  $As_2S_3$   
 B. sol belerang dibuat dengan mengalirkan gas  $H_2S$  ke dalam larutan  $SO_2$   
 C. sol AgCl dapat dibuat dengan mereaksikan perak nitrat encer dengan larutan HCl  
 D. sol emas dibuat dengan melompatkan bunga api listrik dari elektrode Au dalam air  
 E. sol  $Fe(OH)_3$  dibuat dengan menambahkan larutan  $FeCl_3$  jenuh ke dalam air yang mendidih
26. Pembuatan koloid berikut yang tidak tergolong cara dispersi adalah ....  
 A. mekanik  
 B. peptisasi  
 C. busur Bredig  
 D. penggerusan  
 E. penurunan kelarutan
27. Pembuatan sol  $Al(OH)_3$  dengan cara menambahkan  $AlCl_3$  ke dalam endapan  $Al(OH)_3$  disebut ....  
 A. peptisasi  
 B. reduksi  
 C. kondensasi  
 D. hidrolisis  
 E. presipitasi



28. Ebtanas 1999:  
Berikut diberikan beberapa cara pembuatan koloid:
1. belerang dan gula direbus kemudian diaduk dengan air;
  2. larutan  $\text{FeCl}_3$  ditambahkan ke dalam air mendidih;
  3. mengalirkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  ke dalam larutan asam arsenit;
  4. amilum dalam air dipanaskan.
- Berikut yang termasuk cara kondensasi adalah ....
- A. 1 dan 2
  - B. 1 dan 3
  - C. 1 dan 4
  - D. 2 dan 3
  - E. 2 dan 4
- B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.
1. Jelaskan beberapa perbedaan penting antara larutan sejati dan sistem koloid.
  2. Jelaskan yang dimaksud dengan (a) aerosol; (b) emulsi; (c) busa; (d) koloid hidrofob; (e) koloid hidrofil.
  3. Sebutkan fasa zat terdispersi dan fasa medium pendispersi pada setiap pernyataan berikut: (a) awan; (b) susu magnesia; (c) sabun; (d) zat putih telur; (e) hair spray
  4. Apakah alasan partikel koloid tidak menyatu ke dalam partikel berukuran besar. Bagaimana koloid dapat dikoagulasi?
  5. Mengapa lumpur dapat diendapkan dengan menambahkan tawas atau kapur?
  6. Bagaimanakah suatu sistem koloid yang tidak stabil dapat distabilkan?
29. Jika ke dalam campuran minyak kelapa dan air ditambahkan sabun, akan terbentuk ....
- A. emulsi
  - B. sol
  - C. larutan sejati
  - D. suspensi kasar
  - E. aerosol
30. Di dalam air molekul-molekul sabun membentuk ....
- A. koloid
  - B. misel
  - C. larutan sejati
  - D. suspensi kasar
  - E. agerarat yang besar
7. Jelaskan bagaimana koloid dibuat dengan menggunakan cara busur listrik Bredig.
  8. Pencuci biasanya menggunakan sabun dan detergen. Gambarkan bagaimana material yang tidak larut dapat disuspensi ke dalam larutan sabun atau detergen. Buat sketsa yang menunjukkan mekanisme ini.
  9. Sol emas dapat dibuat dengan cara busur listrik bredig dan cara kondensasi. Jelaskan cara pembuatannya dan apakah perbedaan dari kedua teknik ini?
  10. Tinta cartridge printer dibuat dari karbon yang didispersikan ke dalam medium isopropil alkohol. Teknik apakah yang dapat digunakan untuk membuat tinta printer ini?

# Proyek Semester 2

---



## Mengukur pH Sampo

Ketika berjalan-jalan ke apotek atau supermarket, Anda dapat melihat berbagai jenis sampo yang ditawarkan. Contohnya, sampo untuk rambut kering, sampo untuk mewarnai, sampo untuk memperbaiki rambut yang rusak, sampo bayi, sampo antiketombe, dan sampo yang mengandung conditioner. Harganya pun bervariasi, tetapi apakah produk-produk yang ditawarkan benar-benar berbeda? Jika ya, apa sajakah perbedaannya? Pada Proyek Semester 2 ini, Anda ditugaskan untuk membandingkan tingkat keasaman berbagai produk sampo yang dijual di pasaran. Lakukanlah secara berkelompok dari proyek semester ini.

### Tujuan

Membandingkan pH beberapa jenis sampo.

### Alat

1. Kertas pH universal
2. Tabung reaksi

### Bahan

1. Sampo bayi
2. Sampo untuk rambut kering
3. Sampo dengan conditioner
4. Sampo herbal
5. Sampo untuk rambut berminyak
6. Sampo antiketombe

### Langkah Kerja

1. Carilah berbagai jenis sampo di supermarket.
2. Masukkan 1 mL masing-masing sampo ke dalam tabung reaksi yang berbeda.
3. Ukur pH masing-masing sampo tersebut dengan menggunakan kertas indikator universal.
4. Jelaskan perbedaan pH dari berbagai jenis sampo tersebut.

Buatlah laporan dari proyek semester ini secara rinci, kemudian diskusikan di kelas.

---

# Evaluasi Kompetensi Kimia

## Semester 2

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.
- Oksida berikut di dalam air akan memerahkan lakmus biru adalah ....  
A. BaO                      D. Na<sub>2</sub>O  
B. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>                      E. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
C. CaO
  - Untuk mengubah pH larutan HCl dari 2 menjadi 3 maka larutan tersebut harus diencerkan sebanyak ....  
A. 10 kali                      D. 5 kali  
B. 3 kali                      E. 1,5 kali  
C. 2,5 kali
  - Suatu larutan dengan pH 5 dicampurkan dengan larutan yang sama dengan pH 3, maka pH campuran adalah ....  
A. 3,3                      D. 3,5  
B. 4,0                      E. 4,9  
C. 4,5
  - Kekuatan asam lemah biasanya dibandingkan dengan menggunakan ....  
A. tetapan ionisasinya  
B. derajat ionisasinya  
C. nilai pH-nya  
D. kelarutannya  
E. konsentrasinya
  - Larutan asam etanoat 0,01 M yang terionisasi sebanyak 4% mempunyai pH sebesar ....  
A. 2,0                      D. 2,4  
B. 0,6                      E. 3,4  
C. 1,6
  - Ion hidrogen fosfat (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) merupakan asam lemah. Basa konjugatnya adalah ....  
A. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>                      D. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>  
B. H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>                      E. P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>  
C. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  - Suatu basa L(OH)<sub>3</sub> sebanyak 15,6 g tepat bereaksi dengan 29,4 g asam H<sub>2</sub>A. Jika A<sub>r</sub>L = 27, H = 1, O = 16 maka massa molar H<sub>2</sub>A adalah ....  
A. 29,5 g                      D. 78 g  
B. 156 g                      E. 210 g  
C. 147 g
  - Tetapan kesetimbangan ionisasi untuk reaksi:  
 $\text{HNO}_2 + \text{CN}^- \rightleftharpoons \text{HCN} + \text{ONO}^-$   
adalah  $1,1 \times 10^{-6}$ . Berdasarkan nilai tetapan ini, dapat disimpulkan bahwa ....  
A. CN<sup>-</sup> adalah basa lebih kuat dari NO<sub>2</sub><sup>-</sup>  
B. HCN lebih kuat daripada asam HNO<sub>2</sub>  
C. basa konjugat HNO<sub>2</sub> adalah NO<sub>2</sub><sup>-</sup>  
D. asam konjugat CN<sup>-</sup> adalah HCN  
E. HNO<sub>2</sub> bereaksi dengan F<sup>-</sup> membentuk HF
  - Jika ke dalam larutan asam nitrat ditambahkan larutan kalium hidroksida terjadi hal berikut, kecuali ....  
A. molekul air bertambah  
B. ion H<sup>+</sup> berkurang  
C. ion OH<sup>-</sup> bertambah  
D. pH larutan berkurang  
E. terjadi reaksi penetralan
  - Untuk reaksi:  $\text{NH}_4\text{OH} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$   
diketahui tetapan kesetimbangannya,  $K_b(\text{NH}_3) = 1,81 \times 10^{-5}$ . Jika 3,4 g NH<sub>3</sub> dilarutkan ke dalam air sampai volumenya 2 L maka konsentrasi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam larutan sebesar ....  
A.  $1,81 \times 10^{-5}$                       D.  $1,34 \times 10^{-3}$   
B.  $1,81 \times 10^{-6}$                       E.  $6,00 \times 10^{-3}$   
C.  $4,25 \times 10^{-2}$
  - Persamaan kimia berikut yang mewakili reaksi penetralan asam basa adalah ....  
A.  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell) \longrightarrow 2\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$   
B.  $\text{NH}_3(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell) \longrightarrow \text{NH}_4\text{OH}(\text{aq})$   
C.  $\text{Zn}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$   
D.  $\text{CuO}(\text{s}) + 2\text{HNO}_3(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$   
E.  $\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$
  - Jika 99 mL NaOH 0,2 M dicampurkan dengan 100 mL HCl 0,2 M maka pH campuran adalah ....  
A. 1                      D. 4  
B. 2                      E. 5  
C. 3
  - Indikator yang tepat untuk titrasi larutan HCl oleh larutan NaOH adalah ....  
A. metil jingga dengan trayek pH = 3,1 – 4,4  
B. metil merah dengan trayek pH = 4,4 – 6,2  
C. bromtimol biru dengan trayek pH = 6,0 – 8,0  
D. fenolftalein dengan trayek pH = 8,8 – 10  
E. alizarin kuning dengan trayek pH = 10,1 – 12

14. Menurut Bronsted-Lowry, asam adalah ....
- pendonor proton
  - pendonor elektron
  - penerima elektron
  - penerima proton
  - penerima ion  $H^+$
15. Spesi dalam reaksi yang berperan sebagai basa Lewis adalah ....
- $H_2O$
  - $CN^-$
  - $I^-$
  - $NH_3$
  - $PCl_3$
16. Larutan yang dibuat dengan melarutkan asam benzoat 0,01 mol dan natrium benzoat 0,02 mol dalam 500 mL air mempunyai pH antara ( $K_b = 6,5 \times 10^{-5}$ ) ....
- 2 dan 3
  - 4 dan 5
  - 5 dan 6
  - 3 dan 4
  - 6 dan 7
17. Jika 50 mL KOH 0,2 M ditambahkan ke dalam 40 mL HCOOH 0,5 M ( $K_a = 1,78 \times 10^{-4}$ ), pH larutan campuran adalah ....
- 7,00
  - 4,0
  - 4,74
  - 5,5
  - 3,45
18. Di antara larutan garam berikut dengan konsentrasi molar yang sama dan mempunyai pH paling tinggi adalah ....
- $KNO_3$
  - $NH_4Cl$
  - $CH_3COONa$
  - $NaCN$
  - $CH_3NH_2$
19. Larutan garam berikut konsentrasi molarnya sama. Larutan yang paling basa adalah ....
- NaI
  - NaCN
  - $NaNO_3$
  - NaF
  - $CH_3COONa$
20. Untuk membuat larutan penyangga dengan pH sekitar 3 dan 4, dapat digunakan campuran ....
- $NH_4NO_3$  dan  $NH_3$
  - $HNO_2$  dan  $NaNO_2$
  - HOCl dan NaOCl
  - $NaHCO_3$  dan  $Na_2CO_3$
  - $CH_3COOH$  dan  $CH_3COONa$
21. Suatu larutan penyangga adalah campuran dari asam asetat ( $K_a = 1,8 \times 10^{-5}$ ) dan kalium asetat mempunyai pH = 5,24. Perbandingan  $[CH_3COO^-]:[CH_3COOH]$  dalam larutan ini adalah ....
- 1:1
  - 5:1
  - 1:3
  - 3:1
  - 1:5
22. Di antara campuran berikut, yang merupakan larutan penyangga dengan pH mendekati 9 adalah ....
- 50 mL  $NH_4Cl$  0,1 M dan 50 mL NaOH 0,1 M
  - 50 mL  $NH_4Cl$  0,1 M dan 25 mL NaOH 0,1 M
  - 50 mL  $NH_4Cl$  0,1 M dan 50 mL HCl 0,1 M
  - 50 mL  $NH_4Cl$  0,1 M dan 25 mL HCl 0,1 M
  - 25 mL  $NH_4Cl$  0,1 M dan 50 mL NaOH 0,1 M
23. Larutan jenuh  $CaF_2$  adalah  $2 \times 10^{-4}$  M.  $K_{sp}$   $CaF_2$  adalah ....
- $2,6 \times 10^{-9}$
  - $3,2 \times 10^{-11}$
  - $8,0 \times 10^{-12}$
  - $4,0 \times 10^{-8}$
  - $8,0 \times 10^{-10}$
24. Jika  $K_{sp}$   $CaC_2O_4 = 2,6 \times 10^{-9}$ , konsentrasi ion oksalat yang diperlukan untuk membentuk endapan dalam larutan yang mengandung 0,02 M ion kalsium adalah ....
- $1,0 \times 10^{-9}$
  - $2,2 \times 10^{-5}$
  - $5,2 \times 10^{-11}$
  - $1,3 \times 10^{-7}$
  - $5,2 \times 10^{-19}$
25. Jika larutan jenuh  $La_2(C_2O_4)_3$  mengandung  $1,1 \times 10^{-6}$  M,  $K_{sp}$  untuk zat ini adalah ....
- $1,2 \times 10^{-12}$
  - $1,6 \times 10^{-34}$
  - $1,7 \times 10^{-28}$
  - $5,2 \times 10^{-30}$
  - $1,6 \times 10^{-12}$
26. Kelarutan  $CaF_2$  adalah  $2 \times 10^{-4}$  M. Nilai  $K_{sp}$ -nya adalah ....
- $4 \times 10^{-8}$
  - $3,2 \times 10^{-11}$
  - $2,56 \times 10^{-11}$
  - $8 \times 10^{-12}$
  - $8 \times 10^{-8}$
27. Jika hasil kali kelarutan  $BaSO_4$   $1,5 \times 10^{-9}$ , kelarutannya dalam air adalah ....
- $1,5 \times 10^{-9}$  mol per liter
  - $3,9 \times 10^{-5}$  mol per liter
  - $7,5 \times 10^{-5}$  mol per liter
  - lebih kecil dari asam sulfat encer
  - $1,5 \times 10^{-5}$  mol per liter
28. Hasil kali kelarutan AgCl dan  $Ag_2CrO_4$  adalah  $K_{sp}(AgCl) = 1,0 \times 10^{-10}$   
 $K_{sp}(Ag_2CrO_4) = 2,5 \times 10^{-12}$   
Jika larutan perak nitrat ditambahkan ke dalam larutan yang mengandung jumlah mol  $Cl^-$  dan  $CrO_4^{2-}$  yang sama maka ....
- $Ag_2CrO_4$  akan mengendap pertama karena  $K_{sp}$ -nya lebih kecil
  - AgCl akan mengendap pertama sebab kelarutannya lebih rendah
  - tidak ada endapan yang terbentuk
  - $Ag_2CrO_4$  akan mengendap pertama sebab kelarutannya lebih rendah
  - AgCl dan  $Ag_2CrO_4$  akan mengendap secara bersamaan
29. Asap adalah dispersi koloid dengan fasa terdispersi dan medium pendispersi ....

- A. gas dalam padat  
 B. cair dalam padat  
 C. padat dalam gas  
 D. padat dalam padat  
 E. cair dalam gas
30. Gerak Brown dalam koloid disebabkan oleh ....  
 A. ukuran partikel koloid  
 B. gaya gravitasi bumi  
 C. tumbukan antarpartikel tidak merata  
 D. muatan partikel yang sejenis  
 E. energi kinetik partikel
31. Susu cair adalah suspensi koloid dari lemak dan protein yang dapat diendapkan melalui ....  
 A. penambahan etanol  
 B. filtrasi  
 C. pasteurisasi  
 D. penambahan asam  
 E. penambahan air
32. Penggunaan membran semipermeabel untuk memisahkan koloid dikenal sebagai ....
- A. elektroforesis      D. filtrasi  
 B. dialisis              E. peptisasi  
 C. elektrolisis
33. Dispersi koloid arsen(III) sulfida paling cepat dikoagulasi dengan menambahkan larutan yang mengandung ....  
 A. NaCl                      D. CaCl<sub>2</sub>  
 B. Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>                  E. MgCl<sub>2</sub>  
 C. Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>
34. Pembuatan koloid yang tidak termasuk cara dispersi adalah ....  
 A. mekanik                  D. busur Bredig  
 B. penggerusan            E. pengendapan  
 C. peptisasi
35. Sifat adsorpsi yang dimiliki koloid dapat diterapkan untuk proses berikut, kecuali ....  
 A. penjernihan air  
 B. penggumpalan karet  
 C. norit (obat sakit perut)  
 D. pemutih gula pasir  
 E. pencucian sabun pada pakaian
- B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.
1. Larutan dibuat dengan menambahkan 2 mL HCl 5 M dan 2 mL HNO<sub>3</sub> 5 M ke dalam air hingga volume campuran 1.000 mL. Hitung pH dan pOH larutan ini?
2. Larutan sampo memiliki konsentrasi ion hidroksida  $1,5 \times 10^{-9}$  M. Berapakah pH larutan ini?
3. Pada reaksi berikut, tandai setiap spesi sebagai asam atau basa. Tunjukkan spesi yang merupakan asam atau basa dan asam atau basa konjugatnya.  
 a.  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{ClO}^- \rightleftharpoons \text{HC}_2\text{O}_4^- + \text{HClO}$   
 b.  $\text{HPO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{PO}_4^-$   
 c.  $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HSO}_4^- + \text{OH}^-$   
 d.  $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{OH}^-$   
 e.  $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{PO}_4^- \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HPO}_4^{2-}$   
 f.  $\text{HCN} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CN}^- + \text{HCO}_3^-$
4. Sebanyak 10 mL larutan HCl 0,1 M dititrisi dengan larutan NaOH 0,1 M.  
 a. Hitung pH campuran setelah penambahan NaOH sebanyak 0,0 mL; 5,0 mL; 8,0 mL; 9,5 mL; 10,0 mL; dan 15,0 mL.  
 b. Buat grafik yang menunjukkan hubungan pH dan penambahan volume NaOH.  
 c. Indikator apakah yang cocok digunakan untuk menentukan titik akhir titrasi?
5. Berapakah gram NaHPO<sub>4</sub> yang harus ditambahkan ke dalam 500 mL larutan NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,10 M untuk menghasilkan penyangga dengan pH 8,1?  $K_a(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 6,3 \times 10^{-8}$ .
6. Hitung pH pada titik ekuivalen untuk setiap titrasi:  
 a. Natrium asetat 0,104 g ( $K_b = 5,6 \times 10^{-10}$ ) dilarutkan dalam 25 mL air dan dititrisi dengan HCl 0,9996 M.  
 b. 50 mL HOCl 0,0426 M ( $K_a = 3,5 \times 10^{-8}$ ) dititrisi dengan NaOH 0,1028 M.  
 c. 50 mL HBr 0,205 M dititrisi dengan KOH 0,356 M.
7. pH larutan jenuh magnesium hidroksida (susu magnesia) ditemukan 10,52. Dari data ini, tentukan  $K_{sp}$  untuk magnesium hidroksida.
8. Suatu larutan mengandung Zn<sup>2+</sup>  $1,5 \times 10^{-4}$  M dan HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> 0,20 M. Larutan juga mengandung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Berapakah molaritas Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> paling rendah harus ada dalam larutan untuk mencegah pengendapan seng sulfida ketika larutan dijenuhkan dengan H<sub>2</sub>S 10 M.
9. Apakah perbedaan prinsip antara pengendapan koloid dengan cara elektroforesis dan dengan menggunakan larutan elektrolit?
10. Jelaskan beberapa perbedaan penting antara larutan sejati dan koloid? Jelaskan pula yang dimaksud dengan:  
 a. aerosol;  
 b. emulsi;  
 c. busa;  
 d. koloid hidrofob;  
 e. koloid hidrofil.

# Evaluasi Kompetensi Kimia

## Akhir Tahun



A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat.

- Orbital dapat didefinisikan sebagai ....
  - momentum sudut elektron dalam mengelilingi inti atom
  - daerah kebolehjadian ditemukannya elektron dalam atom
  - tempat elektron dalam mengelilingi inti atom
  - bentuk lintasan elektron dalam mengelilingi inti atom
  - perputaran elektron pada porosnya dalam mengelilingi inti atom

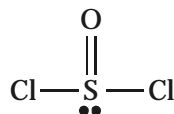
- Jumlah elektron maksimum yang dapat menghuni orbital atom dengan bilangan kuantum M ( $n = 3$ ) adalah ....
  - 8
  - 9
  - 10
  - 18
  - 32

- Bilangan kuantum yang tidak dibolehkan menurut aturan Pauli adalah ....
  - $n = 2 \quad \ell = 0 \quad m = 0 \quad s = +$
  - $n = 2 \quad \ell = 1 \quad m = 1 \quad s = -$
  - $n = 2 \quad \ell = 2 \quad m = -2 \quad s = +$
  - $n = 2 \quad \ell = 0 \quad m = 0 \quad s = -$
  - $n = 2 \quad \ell = 1 \quad m = 0 \quad s = +$

- Unsur M memiliki konfigurasi elektron:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ . Rumus senyawa yang dapat dibentuk unsur M dengan atom oksigen adalah ....
  - MO
  - $MO_2$
  - $MO_3$
  - $M_2O_3$
  - $M_3O_2$

- Titanium memiliki konfigurasi elektron:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$ . Senyawa titanium yang tidak mungkin terdapat di alam adalah ....
  - $Ti(H_2O)_6Cl_3$
  - $K_3TiF_6$
  - $K_2TiF_6$
  - $K_2TiO_5$
  - $K_2TiO_4$

- Perhatikan molekul dengan rumus struktur berikut.



Molekul tersebut memiliki bentuk ....

- tetrahedral
- linear
- segitiga datar
- oktahedral
- piramid

- Senyawa berikut yang bersifat polar adalah ....

- $SF_6$
- $BCl_3$
- $SnCl_4$
- $CH_3Cl$
- $CCl_4$

- Orbital hibrida yang dapat digunakan untuk berikatan dalam molekul atau ion dengan bentuk segiempat datar adalah ....

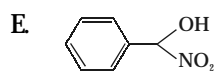
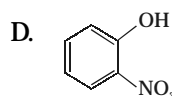
- sp
- $dsp^2$
- $sp^3$
- $sp^3d$
- $d^2sp^3$

- Ikatan van der Waals dimiliki dalam senyawa ....

- $CO_2(s)$
- $Mg(s)$
- $MgO(s)$
- $NH_3(l)$
- $SiO_2(s)$

- Ikatan hidrogen antarmolekul tidak terjadi dalam ....

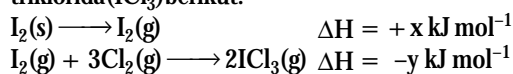
- $HF(l)$
- $NH_3(l)$
- $H_2O(l)$



- Perubahan entalpi pembentukan standar untuk air terdapat pada reaksi ....

- $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$
- $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$
- $H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$
- $H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(l)$
- $H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(g)$

- Perhatikan data entalpi pembentukan standar iodin triklorida ( $ICl_3$ ) berikut.



Perubahan entalpinya adalah ....

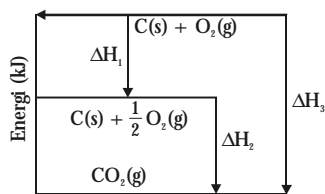
- $\frac{(x+y)}{2}$
- $\frac{(x-y)}{2}$
- $\frac{(x-y)}{3}$
- $(x+y)$
- $(x-y)$

- Perubahan entalpi reaksi sama dengan energi ikatan H-I terdapat pada ....

- $2HI(g) \longrightarrow H_2(g) + I_2(g)$
- $HI(g) \longrightarrow \frac{1}{2}H_2(s) + \frac{1}{2}I_2(s)$
- $HI(g) \longrightarrow \frac{1}{2}H_2(g) + \frac{1}{2}I_2(g)$
- $HI(g) \longrightarrow H^+(g) + I^-(g)$
- $HI(g) \longrightarrow H(g) + I(g)$



14. Perhatikan diagram tingkat energi berikut.



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.  $\Delta H_3 = \Delta H_2 - \Delta H_1$
15. Diketahui tahap-tahap reaksi sebagai berikut.  
 $Mg + H_2O \longrightarrow MgO + H_2 \quad \Delta H = a \text{ kJ}$   
 $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow H_2O \quad \Delta H = b \text{ kJ}$   
 $2Mg + O_2 \longrightarrow 2MgO \quad \Delta H = c \text{ kJ}$   
 Menurut hukum Hess, hubungan antara a, b, c dinyatakan oleh persamaan ....

- A.  $c = 2a + 2b$       D.  $2b = c + 2a$   
 B.  $a = b - c$       E.  $2c = a + 2b$   
 C.  $b = c - a$

16. Dalam reaksi:  $A + 2B \rightarrow C + 2D$ , kecepatan awal ( $-\frac{dA}{dt}$ ) pada  $t = 0$  adalah  $2,6 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

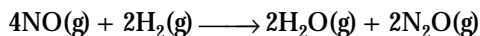
Nilai ( $-\frac{d}{dt}$ ) pada  $t = 0$  (dalam  $\text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) adalah ....

- A.  $2,6 \times 10^{-2}$       D.  $1,0 \times 10^{-1}$   
 B.  $5,2 \times 10^{-2}$       E.  $6,5 \times 10^{-3}$   
 C.  $1,3 \times 10^{-2}$

17. Pada reaksi:  $Cl_2(g) + 2NO(g) \rightarrow 2NOCl(g)$  diketahui bahwa konsentrasi kedua pereaksi dinaikkan 2 kali, kecepatan reaksi meningkat 8 kali. Jika hanya konsentrasi  $Cl_2$  dinaikkan 2 kali, kecepatan reaksi meningkat 2 kali. Orde reaksi terhadap NO adalah ....

- A. 0      D. 3  
 B. 1      E.  $\frac{1}{2}$   
 C. 2

18. Data kecepatan reaksi untuk:



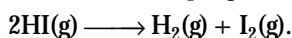
Disajikan pada tabel berikut.

NO	$H_2$	v
0,1	0,1	1
0,3	0,1	9
0,3	0,2	18

Persamaan kecepatan reaksinya ....

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

19. Perhatikan reaksi penguraian berikut.



Persamaan kecepatan reaksinya:  $= k[HI]^2$

Tetapan kecepatan pada  $t_1$  dan  $t_2$  adalah k dan 4k. Jika persamaan kecepatan pada  $t_1$  dan tekanan p adalah maka persamaan kecepatan pada  $t_2$  dan tekanan 3p adalah ....

- A. 9r      D. 24r  
 B. 12r      E. 36r  
 C. 18r

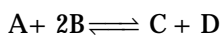
20. Pernyataan berikut tentang katalis yang tidak tepat adalah ....

- A. pada akhir reaksi, komposisi kimia katalis tidak berubah  
 B. katalis turut serta pada tahap-tahap reaksi, tetapi pada akhir reaksi terbentuk kembali  
 C. katalis membentuk ikatan kimia yang sementara dengan pereaksi  
 D. katalis mengubah tetapan kecepatan reaksi  
 E. katalis mengubah posisi kesetimbangan reaksi ke arah produk.

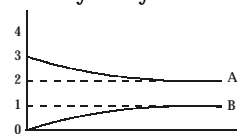
21. Reaksi yang memiliki tetapan kesetimbangan sama dengan hasil kali kelarutannya adalah ....

- A.  $CaC_2O_4(g) + 3H^+(g) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + H_2C_2O_3(g)$   
 B.  $La(OH)_3(s) \rightleftharpoons La^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$   
 C.  $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightleftharpoons AgCl(s)$   
 D.  $Cu(OH)_2(s) + 4NH_3(aq) \rightleftharpoons Cu(NH_3)_4^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$   
 E.  $Zn(OH)_2(s) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Zn(OH)_4^{2-}(aq)$

22. Senyawa A 3M direaksikan dengan senyawa B 4M membentuk kesetimbangan menurut reaksi:



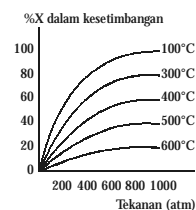
Hasilnya dinyatakan dalam diagram berikut.



Berdasarkan diagram di atas, tetapan kesetimbangan reaksi adalah ....

- A. 1      D. 4  
 B.  $\frac{1}{4}$       E. 8  
 C.  $\frac{1}{8}$

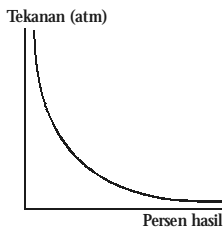
23. Grafik berikut menunjukkan produk gas X pada suhu dan tekanan berbeda.



Berdasarkan grafik di atas, disimpulkan bahwa ....

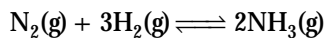
- A. reaksi ke arah produk terjadi dengan menurunkan volume gas
- B. reaksi ke arah produk adalah endoterm
- C. produk reaksi meningkat dengan adanya katalis
- D. reaksi ke arah pereaksi adalah eksoterm
- E. tekanan tidak memengaruhi posisi kesetimbangan

24. Reaksi kesetimbangan yang sesuai dengan grafik berikut adalah ....



- A.  $X(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$
- B.  $X(g) + Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$
- C.  $X(g) + Y(l) \rightleftharpoons 2Z(l)$
- D.  $X(g) + Y(s) \rightleftharpoons Z(g)$
- E.  $X(g) + 2Y(g) \rightleftharpoons Z(g)$

25. Jika 1 mol nitrogen bereaksi dengan 3 mol hidrogen maka tercapai kesetimbangan dengan tekanan total p.



Pada keadaan setimbang, 50% nitrogen sudah bereaksi. Tekanan parsial amonia adalah ....

- A.  $\frac{p}{3}$
- B.  $\frac{p}{4}$
- C.  $\frac{3}{p}$
- D.  $\frac{4}{p}$
- E.  $3p$

26. Kekuatan asam lemah biasanya dibandingkan berdasarkan nilai ....

- A. pH larutan
- B. derajat ionisasinya
- C. tetapan ionisasinya
- D. kelarutannya dalam air
- E. konsentrasinya

27. Asam fluoroetanoat ( $FCH_2COOH$ ) memiliki  $pK_a$  sebesar 2,59 maka asam kloroetanoat ( $ClCH_2COOH$ ) akan memiliki nilai  $pK_a$  sebesar ....

- A. 0,65
- B. 2,59
- C. 2,87
- D. 4,75
- E. 5,59

28. Nilai pH suatu larutan asam adalah 5, artinya ....

- A.  $[H_3O^+] = \log 5$
- B.  $\log [H_3O^+] = 5$
- C.  $-\log [H_3O^+] = -5$
- D.  $[H_3O^+] = 10^{-5}$
- E.  $\log \frac{1}{[H_3O^+]}$

29. Di antara spesi berikut (ditebalkan), yang bertindak selaku basa adalah pada reaksi ....

- A.  $HSO_4^- + HNO_3 \rightarrow H_2NO_3^+ + SO_4^{2-}$
- B.  $HCO_3^- + H_2PO_4^- \rightarrow HPO_4^{2-} + CO_2 + H_2O$
- C.  $CH_3COOH + HNO_3 \rightarrow CH_3COOH_2^+ + NO_3^-$
- D.  $HCl + HBr \rightarrow H_2Cl^+ + Br^-$
- E.  $HSO_4^- + H_3O^+ \rightarrow H_2SO_4 + H_2O$

30. Di antara spesi berikut (ditebalkan), yang bertindak selaku asam Lewis adalah pada reaksi ....

- A.  $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$
- B.  $BCl_3 + NH_3 \rightarrow BCl_3^- + NH_3$
- C.  $Cl^- + AlCl_3 \rightarrow AlCl_4^-$
- D.  $Fe^{3+} + 6CN^- \rightarrow [Fe(CN)_6]^{3-}$
- E.  $Br_2 + FeBr_3 \rightarrow FeBr_4^- + Br^-$

31. Larutan dibuat dengan melarutkan NaOH 0,1 mol dan  $NH_3$  0,1 mol ke dalam satu liter larutan. pH larutan adalah ....

- A. 14,0
- B. 13,0
- C. 11,1
- D. 9,0
- E. 7,6

32. Sebanyak 50 mL larutan HCl 0,1 M direaksikan dengan 80 mL larutan NaOH 0,1 M. pH campuran adalah ....

- A. 3,0
- B. 7,0
- C. 10,5
- D. 12,4
- E. 13,0

33. Asam lemah monoprotik sebanyak 25 mL dititrasi dengan NaOH 0,1M. Titik ekuivalen dicapai pada volume NaOH sebanyak 28,5 mL. Jika  $K_a$  asam ini  $4 \times 10^{-6}$ , indikator yang cocok adalah ....

- A. fenolftalein (trayek pH = 8,5 - 9,8)
- B. timolftalein (trayek pH = 9,5 - 10,6)
- C. bromkresol hijau (trayek pH = 3,8 - 5,4)
- D. metil merah (trayek pH = 4,2 - 6,1)
- E. bromtimol biru (trayek pH = 6 - 7,6)

34. Garam yang dilarutkan dalam air akan menghasilkan larutan dengan pH > 7 adalah ....

- A.  $NH_4Cl$
- B.  $AlCl_3$
- C.  $Na_2CO_3$
- D.  $KNO_3$
- E.  $Mg(NO_3)_2$

35. Persamaan ion untuk reaksi asam nitrit dititrasi dengan kalium hidroksida adalah ....

- A.  $HNO_2 + KOH \rightleftharpoons KNO_2 + H_2O$
- B.  $H_3O^+ + OH^- \rightleftharpoons 2H_2O$
- C.  $NO_2^- + H_2O \rightleftharpoons HNO_2 + OH^-$
- D.  $HNO_2 + H_2O \rightleftharpoons NO_2^- + H_3O^+$
- E.  $HNO_2 + OH^- \rightleftharpoons NO_2^- + H_2O$

36. Campuran berikut yang akan membentuk larutan penyangga adalah ...

- A. 100 mL NaOH 0,1M + 100 mL HCl 0,1 M
- B. 100 mL  $NH_3$  0,1M + 100 mL HCl 0,1M
- C. 100 mL  $NH_3$  0,1M + 100 mL  $CH_3COOH$  0,1M
- D. 50 mL NaOH 0,1M + 50 mL  $CH_3COOH$  0,1M
- E. 50 mL  $Na_2CO_3$  0,1M + 50 mL  $NaHCO_3$  0,1M

37.  $Mg(OH)_2$  mudah larut dalam larutan amonium klorida, tetapi tidak larut dalam natrium klorida sebab ....
- ion  $NH_4^+$  bertindak selaku basa
  - ion  $NH_4^+$  mengubah  $K_{sp}$   $Mg(OH)_2$
  - amonium klorida merupakan elektrolit lebih kuat dari natrium klorida
  - ion  $Na^+$  dan  $Mg^{2+}$  memiliki konfigurasi elektron yang sama
  - $Mg(OH)_2$  memiliki nilai  $K_{sp}$  rendah
38. Koloid di bawah ini yang tidak dapat dibuat dengan cara kondensasi adalah ....
- sol belerang
  - sol  $AgCl$
  - sol  $As_2S_3$
  - sol  $Fe(OH)_3$
  - sol  $AuCl_3$

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.

1. Tuliskan bilangan kuantum untuk setiap elektron yang ditemukan dalam atom nitrogen (N). Contohnya, bilangan kuantum untuk satu elektron dalam 2s adalah

$$n = 2; l = 0; m = 0; s = +\frac{1}{2}$$

2. Senyawa molekuler tersusun dari 60,4% Xe; 22,1% O; dan 17,5% F. Jika massa molekulnya 217 sma. Bagaimanakah rumus molekul tersebut? Buatlah bentuk geometrinya dengan model SEPR dan jelaskan ikatan yang terjadi menurut teori ikatan valensi.
3. Gunakan data energi ikatan untuk meramalkan  $\Delta H^\circ$  pada reaksi berikut.
- $N_2F_2(g) + F_2(g) \longrightarrow N_2F_4(g)$
  - $H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O_2(g)$
  - $2H_2(g) + N_2(g) \longrightarrow N_2H_4(g)$
  - $HCN(g) + 2H_2(g) \longrightarrow CH_3NH_2(g)$
4. Suatu kalorimeter berisi 75 g air pada suhu  $17^\circ C$ . Cuplikan besi sebanyak 75 g pada  $63^\circ C$  ditempatkan dalam kalorimeter tersebut menghasilkan suhu akhir sistem  $21^\circ C$ . Hitunglah kapasitas kalor kalorimeter jika suhu kalorimeter naik  $2^\circ C$ . Kalor jenis air  $4,184 J/g^\circ C$  dan kalor jenis besi  $0,45 J/g^\circ C$ .
5. Diketahui persamaan termokimia berikut.
- $$C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$$
- $$\Delta H^\circ = 1234,7 \text{ kJ}$$
- $$C_2H_5OCH_3(l) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$$
- $$\Delta H^\circ = 1328,3 \text{ kJ}$$
- Hitung  $\Delta H^\circ$  untuk reaksi:
- $$C_2H_5OH(l) \longrightarrow C_2H_5OCH_3(l)$$
6. Ion iodida dioksidasi menjadi ion hipiodit ( $IO^-$ ) dengan ion hipoklorit ( $ClO^-$ ) dalam larutan basa. Persamaan kimianya:
- $$I^-(aq) + ClO^-(aq) \xrightarrow{OH^-} IO^-(aq) + Cl^-(aq)$$
- Dengan data sebagai berikut.

39. Di antara senyawa berikut, yang paling cepat mengendapkan lumpur di sungai adalah ....
- $NaCl$
  - $KCl$
  - $MgCl_2$
  - $AlCl_3$
  - $CaCl_2$
40. Sifat adsorpsi dari partikel koloid dapat dipakai untuk peristiwa berikut, kecuali ....
- elektrolisis
  - elektroforesis
  - dialisis
  - koagulasi
  - penggunaan koloid pelindung

Per . Ke-	Konsentrasi Awal (mol L <sup>-1</sup> )			Laju Awal (mol L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )
	I <sup>-</sup>	ClO <sup>-</sup>	OH <sup>-</sup>	
1	0,01	0,02	0,01	$12,2 \times 10^{-2}$
2	0,02	0,01	0,01	$12,2 \times 10^{-2}$
3	0,01	0,01	0,01	$6,1 \times 10^{-2}$
4	0,01	0,01	0,02	$3,0 \times 10^{-2}$

Tentukan hukum laju untuk reaksi tersebut dan tentukan nilai tetapan lajunya.

7. Perhatikan reaksi hidrogenasi piridin menjadi piperidin:
- $$C_5H_5N(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons C_5H_{11}N(g)$$
- Pada keadaan setimbang, tetapan kesetimbangannya adalah  $\text{Log } K = 0,28 + \frac{10,56}{T}$ .
- Hitunglah nilai K pada  $T = 500K$ .
  - Jika tekanan parsial hidrogen 1 atm, berapakah fraksi molekul piridin pada 500K?
8. Jika batu kapur terendam air hujan maka terjadi kesetimbangan kimia berikut.
- $$CO_2(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons CO_2(aq)$$
- $$CO_2(aq) + H_2O(l) + CaCO_3(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2HCO_2^-(aq)$$
- Bagaimanakah stalagmit dan stalagtit terbentuk di dalam gua?
9. Teknisi laboratorium forensik ingin menentukan barbital yang terkandung dalam cuplikan melalui titrasi dengan NaOH. (Barbital adalah obat penenang yang dapat menyebabkan kecanduan. Jika overdosis dapat mengakibatkan koma atau mati). Dari hasil laboratorium, diketahui konsentrasi  $NaC_8H_{11}N_2O_3$  pada titik ekuivalen adalah 0,001 M. Jika  $K_a$  (barbital) =  $3,7 \times 10^{-8}$ , pada pH berapakah titik ekuivalen diamati dan indikator apakah yang cocok untuk ini?
10. pH larutan jenuh magnesium hidroksida (susu magnesia) sebesar 10,52. Tentukanlah  $K_{sp}$  untuk magnesium hidroksida.

# Apendiks 1



## Kunci Jawaban

### Tes Kompetensi Subbab

#### Bab 1 Struktur Atom

##### Tes Kompetensi Subbab A

- $$\Delta E = 2,17 \times 10^{-18} \left(1 - \frac{1}{16}\right) \text{J}$$
$$= 2,042 \times 10^{-18} \text{J}$$
- Spektrum atom hidrogen yang terurai menjadi beberapa garis spectra akibat medan magnet atau medan listrik.
- Atom-atom yang memiliki lebih dari dua elektron. Atom hidrogen tidak tergolong atom berelektron banyak melainkan atom berelektron tunggal. Atom berelektron banyak, berarti memiliki nomor atom besar. Atom berelektron banyak dimulai dari helium dan seterusnya.
- Terdapat 16 orbital
- Bilangan kuantum spin adalah bilangan yang menyatakan arah putaran elektron pada porosnya (searah atau berlawanan arah jarum jam). Bilangan kuantum spin muncul dari hasil analisis cahaya yang dipantulkan dari uap atom perak (tidak dihasilkan dari penurunan teori mekanika kuantum).

##### Tes Kompetensi Subbab B

- Sebab orbital s tidak memiliki orientasi dalam ruang. Peluang ditemukannya elektron terletak pada permukaan bola.
- Peluang terbesar dalam bidang xz adalah terbesar  $\gg$  99,9%, sedangkan di luar bidang peluangnya terkecil  $>$  0,001%.
- Jika  $n = 3$  maka  $\ell = n - 1 = 3 - 1 = 2$  sehingga dilarang
  - Jika  $n = 4$  maka  $\ell = n - 1 = 4 - 1 = 3$  sehingga diizinkan
  - Jika  $n = 5$  maka  $\ell = 4$  sehingga diizinkan

##### Tes Kompetensi Subbab C

- Pada  $n = 4$ , jumlah orbital  $= n^2 = 16$ , jumlah maksimum elektron,  $2n^2 = 32$ .
- $K = 2$   
 $L = 8$   
 $M = 18$   
Penulisan konfigurasi di Kelas X tidak menyimpang  $N = 32$
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6 7s^2 5f^{14} 6d^{10} 7p^6 8s^2$

- ${}^7\text{N} : 1s^2 2s^2 2p^3$   
 ${}^{15}\text{P} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$   
 ${}^{33}\text{As} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^3$   
 ${}^{51}\text{Sb} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^3$
- ${}^{11}\text{Na} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  (ketidakpastian dalam momentum spin)  
 ${}^{13}\text{Al} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$  (ketidakpastian dalam momentum sudut)  
 ${}^{14}\text{Si} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$  (ketidakpastian dalam momentum sudut)  
 ${}^{15}\text{P} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$  (ketidakpastian dalam momentum spin)  
 ${}^{16}\text{S} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$  (ketidakpastian dalam momentum sudut)  
 ${}^{17}\text{Cl} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$  (ketidakpastian dalam momentum sudut)
- $\text{Fe}^{3+}$  memiliki orbital setengah penuh

##### Tes Kompetensi Subbab D

- Karena konfigurasi elektron dari golongan IA memiliki kelebihan 1 elektron untuk stabil, sedangkan golongan IIA kelebihan 2 elektron.
- Konfigurasi  ${}^{15}\text{P} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$   
fosfor memiliki 5 elektron di kulit terluar ( $3s^2 3p^3$ )  
Jadi, bisa memiliki valensi 3 dan valensi 5.
- NA 5: periode 2, golongan IIIA  
NA 13: periode 3, golongan IIIA  
NA 31: periode 4, golongan IIIA  
NA 59: periode 6, transisi dalam  
NA 81: periode 6, golongan IIIA

##### I. Pilihan ganda

- |      |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 1. D | 11. B | 21. D | 31. E | 41. E |
| 3. B | 13. C | 23. E | 33. B | 43. A |
| 5. D | 15. C | 25. B | 35. A | 45. D |
| 7. B | 17. C | 27. A | 37. B | 47. C |
| 9. D | 19. D | 29. D | 39. A | 49. E |

##### II. Esai

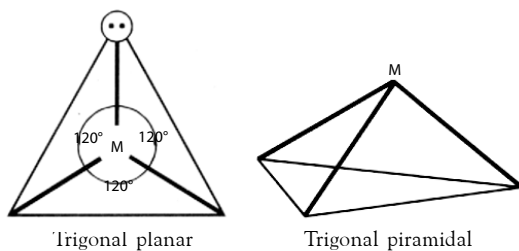
- Posisi elektron dalam atom. Bohr menyatakan elektron mengelilingi inti dengan jarak tertentu, sedangkan teori mekanika kuantum menyatakan posisi elektron dalam atom tidak dapat dipastikan, yang dapat diketahui hanya daerah kebolehjadian menemukan elektron.
- bilangan kuantum utama (n) menyatakan bentuk orbital

- bilangan kuantum azimut ( $\ell$ ) menyatakan bentuk orbital
  - bilangan kuantum magnetik ( $m$ ) menyatakan bentuk orbital
  - bilangan kuantum spin ( $s$ ) menyatakan bentuk orbital
- tiga ( $4p_x$ ,  $4p_y$ , dan  $4p_z$ )
  - 10 orbital
7. a, karena bilangan kuantum spin tidak mungkin.
9.  $N^{3-} : 1s^2 2s^2 2p^6$   
 $Mg^{2+} : 1s^2 2s^2 2p^6$   
 $Al^{3+} : 1s^2 2s^2 2p^6$   
 $Cl^- : [Ne]^{10} 3s^2 3p^6$   
 $Sc^{3+} : [Ne]^{10} 3s^2 3p^6$
11.  $Ne = 1s$   
 $1s^3 2s^3 2p^9$
13. Karena tingkat energinya berbeda.  
 Untuk  $n = 1$  hanya ada  $\ell = 0$  (2 elektron)  
 $n = 2$   $\ell = 0, 1$  (8 elektron)  
 $n = 3$   $\ell = 0, 1, 2$  (18 elektron)  
 $n = 4$   $\ell = 0, 1, 2, 3$  (32 elektron)
15. Golongan 3B, periode 8.

## Bab 2 Struktur dan Gaya Antarmolekul

### Tes Kompetensi Subbab A

1.

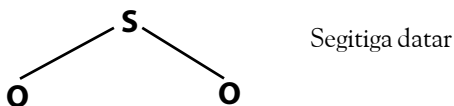


- Trigonal planar = antara dua ikatan pada atom pusat sebesar  $120^\circ$   
 Bujur sangkar = antara empat ikatan pada atom pusat sebesar  $90^\circ$   
 Tetrahedral = sama besar, yaitu  $109,5^\circ$   
 Trigonal piramidal = bidang datar segitiganya mempunyai sudut  $120^\circ$ , sedangkan antara bidang pusat dan titik sudut atas serta bidang bawah sebesar  $90^\circ$   
 Oktahedral = sama besar, yaitu  $90^\circ$

### Tes Kompetensi Subbab B

- Teori domain elektron yang berdasarkan pada jumlah pasangan elektron ikatan (PEI) dan pasangan elektron bebas (PEB) dalam atom pusat.

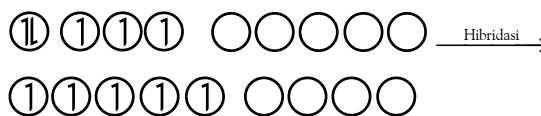
3.



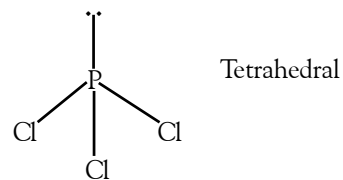
### Tes Kompetensi Subbab C

- Hibridasi adalah pencampuran orbital-orbital atom membentuk orbital baru dengan tingkat energi tertentu. Promosi elektron adalah perpindahan (penyesuaian) elektron dalam orbital sehingga lebih stabil. Orbital hibrida  $sp^3$  adalah pembentukan orbital dari orbital  $s$  dan orbital  $p$  dengan cara mempromosikan elektron dalam orbital  $s$  ke orbital  $p$ .

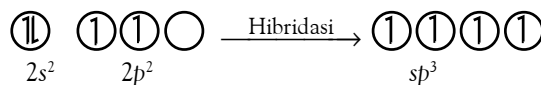
3.  $_{15}P : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3 3d^0$



membentuk orbital hibrida  $sp^3d$



- Sebab pada atom N:  $1s^2 2s^2 2p^3$  tidak memiliki orbital  $2d$  sehingga tidak memungkinkan terjadi hibridisasi  $sp^3d$ .
- Konfigurasi elektron  ${}_6C = 1s^2 2s^2 2p^2$



Dua orbital  $sp^3$  berikatan sigma dengan satu orbital  $1s$  dari atom hidrogen dan 1 orbital  $2p$  dari atom nitrogen. Dua orbital  $sp^3$  sisa berikatan phi dengan orbital  $2p$  dari atom nitrogen membentuk ikatan rangkap tiga. Struktur molekul yang terbentuk:  $H=C\equiv N$

### Tes Kompetensi Subbab D

- $SOCl_2$  memiliki titik leleh dan titik didih lebih besar daripada  $PCl_3$ .
- Karena oksigen dan nitrogen merupakan atom dengan keelektronegatifan tinggi sehingga dapat menarik pasangan elektron ikatan yang digunakan bersama.
- Tergantung pemikiran Anda.
- Oleh karena atom C dan atom Si memiliki skala keelektronegatifan rendah maka ikatan hidrogen tidak terjadi.

#### I. Pilihan ganda

- A    11. C    21. C    31. C
- B    13. D    23. D    33. E
- D    15. A    25. D    35. A
- A    17. A    27. B
- E    19. B    29. D

## II. Esai

- linear
  - linear
  - Tetrahedral
  - huruf V
  - Trigonal piramidal
- Trigonal planar
  - Trigonal bipiramidal
  - Trigonal planar
  - Trigonal bipiramidal
- Orbital gabungan antara 2 atau 3 orbital dengan tingkat energi yang tidak jauh berbeda.
  - Orbital-orbital bertumpangtuh (*overlapping*) antara satu dan yang lain sehingga terbentuk orbital hibrida.
- Terjadi saat molekul-molekul memiliki sebaran muatan yang tidak homogen.
  - Terbentuknya dipol sementara dan dipol terinduksi.
  - Mr dan speritas molekul.
- Gaya London : a, d, e  
Gaya van der Waals : b, c, f

## Bab 3 Termokimia

### Tes Kompetensi Subbab A

- Sistem adalah segala sesuatu (variabel) yang menjadi fokus penelitian, sedangkan lingkungan adalah variabel-variabel penelitian yang memengaruhi sistem tetapi tidak menjadi fokus penelitian.
- Oleh karena membutuhkan kalor maka reaksi fotosintesis tergolong reaksi endoterm.
  - Sistem: CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Lingkungan: energi matahari, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> dan O<sub>2</sub>, dan segala sesuatu di luar sistem.
- Perubahan entalpi (eksoterm)
  - Perubahan entalpi (endoterm)
  - Bukan perubahan entalpi
- CaC<sub>2</sub>(s) + 2H<sub>2</sub>O(l) → C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>(g) + Ca(OH)<sub>2</sub>(aq)  
ΔH = -128 kJ
- CH<sub>4</sub> + 2O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>O ΔH = -1530 kJ  
$$\Delta H = \frac{16}{32} \times (-1530 \text{ kJ}) = -765 \text{ kJ}$$

### Tes Kompetensi Subbab B

- Q = mc ΔT = 500 × 4,18 × 75 = 156,75 kJ
- Q (air dingin) = Q (air panas)  
50 (T<sub>c</sub> - 25) = 75 (75 - T<sub>c</sub>)  
50T<sub>c</sub> - 1250 = 5625 - 75T<sub>c</sub>  
T<sub>c</sub> = 35°C.
- Q<sub>air panas</sub> = Q<sub>air dingin</sub> + Q<sub>kalorimeter</sub>  
50 g × 4,18 J/°C g × 45°C  
= (100 g × 4,18 J/°C g × 15°C) + (C<sub>k</sub> 15°C) 9405 J  
= 6270 J + 15 C<sub>k</sub> J  
C<sub>k</sub> = 209 J/°C

### Tes Kompetensi Subbab C

- ΔH = -33,2 kJ mol<sup>-1</sup>

- ΔH = -87 kJ mol<sup>-1</sup>
- ΔH° = 229,2 kJ
- H<sub>2</sub> = 432 kJ mol<sup>-1</sup>, HCl = 428 kJ mol<sup>-1</sup>, I<sub>2</sub> = 149 kJ mol<sup>-1</sup>
- N<sub>2</sub> = 942 kJ mol<sup>-1</sup>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> = 1661 kJ mol<sup>-1</sup>
- DH<sub>reaksi</sub> = (½ × 432 + ½ × 190) - 362 = -51 kJ mol<sup>-1</sup>
  - DH<sub>reaksi</sub> = (4 × 413 + 4 × 240) - (4 × 327 + 4 × 428) = -408 kJ mol<sup>-1</sup>

## Tes Kompetensi Subbab D

- Sel surya adalah pembangkit energi listrik menggunakan matahari sebagai sumber energinya.
- Mereaksikan gas CO dan H<sub>2</sub> yang telah diperkaya membentuk metana dan uap air. CH<sub>4</sub> disebut gas alam sintetik.
- Sumber energi terbarukan: sumber energi yang dapat diperbarui kembali.

## I. Pilihan ganda

- C
- C
- D
- C
- C
- E
- B
- B
- D
- A
- E
- A
- D
- D
- B
- C
- E
- D
- D

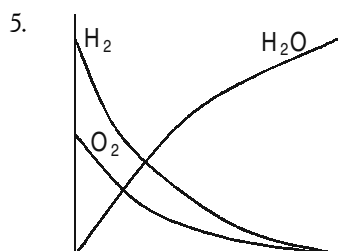
## II. Esai

- Pada benda panas yang banyak adalah energi internal sedangkan kalor baru memiliki nilai apabila terjadi perpindahan energi.
- Pendingin, karena reaksi melepas energi.
- +335 J/k
- 564
- +116

## Bab 4 Kecepatan Reaksi

### Tes Kompetensi Subbab A

- mol NaOH = 0,625 mol  
$$\text{Kemolaran} = \frac{0,625 \text{ mol}}{750 \text{ mL}} \times \frac{1000}{1 \text{ liter}} = 0,83 \text{ M}$$
- mol CH<sub>4</sub> = 0,625 mol  
Kemolaran = 0,052 M



- Kecepatan penguraian ion bromida = 2,5 mol L<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>



### Tes Kompetensi Subbab B

- Semakin besar konsentrasinya maka reaksi akan lebih lambat.
- Minum obat berbentuk sirup.
- Katalis heterogen
  - Katalis homogen
  - Katalis homogen

### Tes Kompetensi Subbab C

- Hukum kecepatan reaksi adalah persamaan yang menyatakan hubungan antara kecepatan reaksi dan konsentrasi molar pereaksi dipangkatkan tingkat reaksi atau orde reaksinya.
- a.  $\frac{1}{4}$  kali, b.  $\frac{1}{64}$  kali, c.  $\frac{1}{2}$  kali

5. Pada  $\text{Cl}_2$  :  $\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{0,36}{0,18}\right)^x = \left(\frac{0,20}{0,10}\right)^x$   
maka  $x = 1$

pada  $\text{NO}$  :  $\frac{V_2}{V_3} = \left(\frac{0,36}{1,44}\right)^y = \left(\frac{0,10}{0,20}\right)^y = \left(\frac{1}{4}\right)^y = \left(\frac{1}{2}\right)^y$

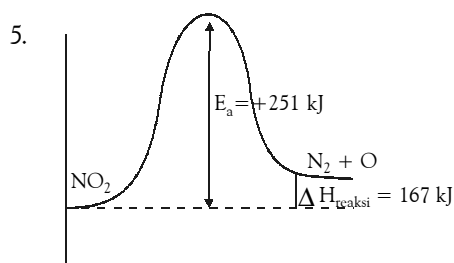
maka  $y = 2$

sehingga persamaan reaksinya:

$$v = k[\text{NO}]^2 [\text{Cl}_2]$$

### Tes Kompetensi Subbab D

- Jika konsentrasi pereaksi diperbesar maka frekuensi tumbukan semakin tinggi sehingga laju reaksi juga akan meningkat.
- Dengan orientasi yang tepat, partikel-partikel pereaksi dapat menghasilkan tumbukan efektif.



### Tes Kompetensi Subbab E

- Semakin kecil bahannya maka semakin besar luas permukaannya.
- $\text{FeO}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ , dan  $\text{Pt-Rh}$ .
- $\text{CO}(g) \xrightarrow{\text{katalis}} \text{CO}_2(g)$   
 $\text{NO}(g) \xrightarrow{\text{katalis}} \text{N}_2(g)$   
 $\text{CH}_x \xrightarrow{\text{katalis}} \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$

#### I. Pilihan ganda

- B 11. D 21. E 31. B
- A 13. D 23. C 33. A
- C 15. D 25. B 35. B

- B 17. D 27. C
- D 19. E 29. A

#### II. Esai

- Laju reaksi: perubahan konsentrasi pada setiap waktu.  
Kecepatan reaksi: perubahan konsentrasi rata-rata dalam selang waktu tertentu.
- Katalis homogen sefasa dengan pereaksi.  
Katalis heterogen berbeda fasa.
  - Menyediakan tempat bereaksi (meningkatkan orientasi tumbukan efektif).
  - Menurunkan  $E_a$ .
  - Mungkin.
- $v = k [\text{NO}]^2 [\text{H}]$   
tingkat reaksi = 3
- $v_2 = 2 v_1$
  - $v_2 = 3 v_1$
  - $v_2 = 2 v_1$

### Bab 5 Kestimbangan Kimia

#### Tes Kompetensi Subbab A

- Reaksi satu arah: produk tidak dapat bereaksi kembali menjadi pereaksi.  
Reaksi dua arah: produk dapat bereaksi kembali menjadi pereaksi.  
Reaksi kesetimbangan: reaksi dua arah yang mempunyai kecepatan bereaksi sama.

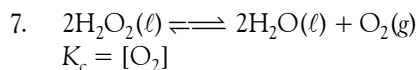
3. a.  $K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$

b.  $K = \frac{[\text{CO}][\text{H}_2]^3}{[\text{H}_2\text{O}][\text{CH}_4]}$

c.  $K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$

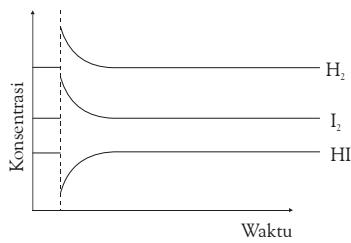
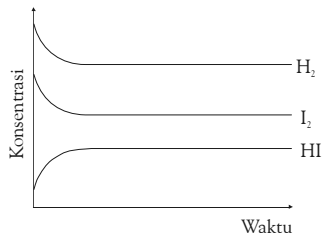
d.  $K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 [\text{O}_2]}$

5.  $K_c = \frac{1}{[\text{H}_2\text{O}]^n}$



### Tes Kompetensi Subbab B

- Variabel suhu.
- Reaksi akan bergeser ke kanan.



- Udara kering.
- Gelas ukur yang direndam.
- Reaksi bergerak ke kanan
  - Reaksi bergerak ke kiri
  - Komponen potensial gas dalam sistem kesetimbangan tidak berubah.

### Tes Kompetensi Subbab C

- $$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{\left[\frac{1,56}{2}\right]^2}{\left[\frac{1}{2}\right]\left[\frac{1}{2}\right]} = 2,4336$$
- $$K_c = \frac{0,05}{0,2} = 0,25 \text{ (25\%)}$$
- $$K_3 = 2,2 \times 10^{-11}$$
- $$K_p = 26,20$$
- $$1,9 = \frac{[\text{PCO}]^2}{1,5}$$

$$P_{\text{CO}} = 1,688 \text{ atm}$$
- $$K_p = 26,20 = K_c (RT)_2 = K_c (0,082 \times 1250)_2$$

$$K_c = \frac{26,20}{10506,25} = 2,49 \times 10^{-3}$$

$$P = \text{konsentrasi} \times RT$$

$$\text{konsentrasi H}_2\text{O} = \frac{P}{RT} = \frac{0,83}{10506,25} = 7,9 \times 10^{-5}$$

$$\text{konsentrasi CO} = \frac{0,75}{10506,25} = 5,43 \times 10^{-5}$$

$$\text{konsentrasi H}_2 = \frac{2,26}{10506,25} = 2,15 \times 10^{-4}$$

### Tes Kompetensi Subbab D

- Dengan cara mendinginkan minuman bersoda tersebut

#### I. Pilihan ganda

- E
- E
- E
- B
- E
- E
- B
- B
- D
- A
- D
- A
- A
- A
- E

#### II. Esai

- Reaksi satu arah adalah hasil reaksi tidak bisa berubah menjadi pereaksi kembali.
  - Reaksi dua arah adalah hasil reaksi dapat berubah kembali menjadi pereaksi.
  - Reaksi kesetimbangan adalah reaksi dua arah dengan kecepatan reaksi ke kanan sama dengan kecepatan reaksi ke kiri.

- $$K_c = \frac{[\text{HF}]^2}{[\text{H}_2][\text{F}_2]}$$

- $$K_c = 0$$

- $$K_c = [\text{H}_2]^3$$

- $$K_c = [\text{CS}_2]$$

- $$K_c = 5,5$$

- $$K_p = K_c \left[\frac{3}{2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

- $$K_c = \frac{[\text{NO}][\text{Br}_2]^{\frac{1}{2}}}{[\text{NOBr}]}$$

- $$K_p = 114 \text{ KPa}$$

$$K_c = 26,21 \text{ mol L}^{-1}$$

### Evaluasi Kompetensi Kimia Semester 1

#### I. Pilihan ganda

- A
- C
- D
- C
- E
- D
- C
- C
- A
- E
- C
- C
- D
- D
- D

#### II. Esai

- Golongan IIA, periode 8
- $${}_{15}\text{P} = [\text{Ne}]^{10} 3s^2 3p^3$$
- 229,2 kJ
- $$v = k [\text{NO}]^2 [\text{Cl}_2]$$
  - $$k = 180 \text{ mol}^{-2} \text{ s}^{-1}$$
- 0,72

## Bab 6 Asam Basa

### Tes Kompetensi Subbab A

- a.  $\text{H}_3\text{PO}_4(aq) \rightleftharpoons 3\text{H}^+(aq) + \text{PO}_4^{3-}(aq)$   
b.  $\text{HClO}_4(aq) \rightleftharpoons \text{H}^+(aq) + \text{ClO}_4^-(aq)$   
c.  $\text{Mg}(\text{OH})_2(aq) \longrightarrow \text{Mg}^{2+}(aq) + 2\text{OH}^-(aq)$

### Tes Kompetensi Subbab B

- $[\text{H}^+] = 0,5 \text{ M}$ ;  $[\text{Cl}^-] = 0,5 \text{ M}$   
 $[\text{H}^+] = 0,25 \text{ M}$ ;  $[\text{ClO}_4^-] = 0,25 \text{ M}$   
 $[\text{H}^+] = 0,01 \text{ M}$ ;  $[\text{NO}_3^-] = 0,01 \text{ M}$
- $[\text{H}^+] = [\text{CN}^-] = 1,4 \times 10^{-5} \text{ M}$
- $K_b(\text{etanolamin}) = 1,4 \times 10^{-22}$
- $[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,491 \text{ M}$   
 $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}^+] = 0,009 \text{ M}$   
 $[\text{H}^+] = 0,5 \text{ M}$

### Tes Kompetensi Subbab C

- Sebab untuk mengionisasi molekul-molekul  $\text{H}_2\text{O}$  diperlukan energi. Kenaikan suhu air akan menggeser posisi kesetimbangan ionisasi air ke arah pembentukan ion-ionnya.
- $\text{pH}(\text{HClO}_4) = 0,7$
- a.  $\text{pH}(\text{NaOH } 0,5 \text{ M}) = 13,7$   
b.  $\text{pH}(\text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ } 0,5 \text{ M}) = 14$
- $\text{pH}(\text{anilin}) = 8,6$

### Tes Kompetensi Subbab D

- Donor proton** (huruf tebal)  
a.  $\text{OH}^- + \text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
b.  $\text{H}_2\text{O} + \text{S}_2^- \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{OH}^-$   
c.  $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
- $\text{BF}_4^-$
- a.  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$  asam lewis  
 $\text{SO}_3$  sebagai basa lewis  
b.  $\text{SiF}_4$  sebagai asam lewis  
 $\text{F}^-$  sebagai basa lewis  
c.  $\text{HCl}$  sebagai asam lewis  
 $\text{NH}_3$  sebagai basa lewis  
d.  $\text{H}_2\text{O}$  dapat berperan sebagai asam atau basa lewis

## Evaluasi Kompetensi Bab 6

### I. Pilihan ganda

- E    11. A    21. D    31. B
- E    13. E    23. D    33. A
- E    15. C    25. B    35. D
- A    17. D    27. D
- D    19. D    29. A

### II. Esai

- Asam rasanya masam, sedangkan basa rasanya pahit
  - Contoh asam: cuka; basa: sabun.
- Asam

- $[\text{H}^+] = [\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2\text{COO}] = 0,001 \text{ M}$
- $[\text{H}^+] = 7,7 \times 10^{-9}$
- a.  $\text{HCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{Cl}^-(aq)$   
asam            basa            asam            basa  
b.  $\text{HCO}_3^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(aq) + \text{OH}^-(aq)$   
basa            asam            asam            basa  
c.  $\text{NH}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$   
basa            asam            asam            basa  
d.  $\text{CaO}(s) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(aq) + 2\text{OH}^-(aq)$   
basa            asam            asam            basa

## Bab 7 Stoikiometri Larutan dan Titrasi Asam Basa

### Tes Kompetensi Subbab A

- a.  $\text{Ca}(s) + 2\text{H}^+(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq) \longrightarrow \text{CaSO}_4(s) + \text{H}_2(g)$   
b.  $\text{NH}_4^+(aq) \longrightarrow \text{NH}_3(g) + \text{H}^+(aq)$   
c.  $\text{Cu}(s) + 2\text{Ag}^+(aq) \longrightarrow 2\text{Ag}(s) + \text{Cu}^{2+}(aq)$
- a.  $\text{BaSO}_4(s)$  (endapan); dan  $\text{HCl}(aq)$  (larutan)  
b.  $\text{AgCl}(s)$  (endapan); dan  $\text{NaNO}_3(aq)$  (larutan)  
c.  $2\text{NaOH}(aq)$  (larutan); dan  $\text{H}_2(g)$  (gas)  
d.  $\text{NaCl}(aq)$  (larutan); dan  $\text{HNO}_3(aq)$  (larutan)
- $[\text{NHO}_3] \text{ pekat} = 14,65 \text{ M}$ ;  $[\text{HNO}_3] \text{ encer} = 0,19 \text{ M}$ .
- $\text{pH} = 13,9$
- $\text{pH} = 13,2$

### Tes Kompetensi Subbab B

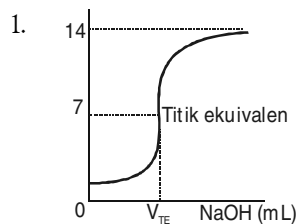
- Metil jingga : 0 – 1,7  
Fenolftalein : 8,5 – 10  
Brom timol biru : 8 – 8
- a.  $V(\text{NaOH}) = 62,5 \text{ mL}$   
b.  $\text{pH} = 0,6$  (0 mL); 0,8 (10 mL); 1,1 (25 mL); 1,23 (30 mL); dan 1,78 (50 mL)  
c. Kuning (asam) → biru (basa). Hijau pada saat titik ekuivalen.

## Evaluasi Kompetensi Bab 7

### I. Pilihan ganda

- C            17. C
- C            19. D
- C            21. E
- D            23. A
- C            25. C
- C
- A
- D

## II. Esai



1.
  - a.  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$
  - b.  $\text{pH} = -\log \left(\frac{1}{3} [\text{H}^+]\right)$
  - c.  $\text{pH} = -\log \left(\sqrt{K_w}\right)$
  - d.  $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-]$
3.  $V(\text{HBr}) = 3 \text{ L}$
5.  $\text{pH} = 1,35; [\text{CN}^-] = 2,5 \times 10^{-5} \text{ M}$
7.
  - Titik ekuivalen adalah jumlah mol  $\text{H}^+$  tepat dinetralkan oleh jumlah mol  $\text{OH}^-$  pada titrasi asam basa.
  - Titik akhir adalah titik berakhirnya titrasi, yang ditandai oleh perubahan warna.
  - Agar titik akhirnya dekat dengan titik ekuivalen.

## Bab 8 Kesetimbangan Ion-Ion dalam Larutan

### Tes Kompetensi Subbab A

1. a.  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$   
 Pada saat titik ekuivalen tercapai, terbentuk garam natrium asetat. Ion asetat dari garam ini merupakan basa konjugat yang cukup kuat untuk menarik proton dari air. Dengan kata lain, terjadi hidrolisis menghasilkan ion  $\text{OH}^-$ .  

$$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$$
- b. Oleh karena terbentuk ion  $\text{OH}^-$ ,  $\text{pH}_{\text{TE}} > 7$

### Tes Kompetensi Subbab B

1.  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$   
 $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$
3.  $\text{pH} = 9,07$
5.  $\text{pH} = 5,9$
7.  $\text{pH} = 5,1$
9. a. netral; b. bergantung pada  $K_a(\text{NH}_4^+)$  dan  $K_b(\text{NO}_2^-)$ ; c. asam

### Tes Kompetensi Subbab C

1.  $\text{pH} = 4,8$
3.  $[\text{C}_6\text{H}_5\text{OOO}^-] = \left(\frac{1}{0,15}\right) \times [\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]$
5. Sebelum penambahan  $\text{NaOH}$   $\text{pH} = 9,255$   
 Sesudah penambahan  $\text{NaOH}$   $\text{pH} = 9,26$
7.  $\text{pH} (2,84)$ ; pengenceran tidak memengaruhi nilai  $\text{pH}$ .

## Tes Kompetensi Subbab D

1. a.  $K_{sp}(\text{CaCO}_3) = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]$   
 b.  $K_{sp}(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = [\text{Ca}^{2+}]^3[\text{PO}_4^{3-}]^2$   
 c.  $K_{sp}(\text{PbS}) = [\text{Pb}^{2+}][\text{S}^{2-}]$
3. Kelarutan (S)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 8,6 \times 10^{-13} \text{ M}$
5. Nilai  $\text{pH} < 1,9$

## Evaluasi Kompetensi Bab 8

### I. Pilihan ganda

1. D    11. B    21. D    31. C
3. A    13. C    23. A    33. B
5. D    15. A    25. A    35. B
7. A    17. E    27. D
9. A    19. A    29. E

### II. Esai

1. a.  $\text{pH} = 2,87$                       c.  $\text{pH} = 8,7$   
 b.  $\text{pH} = 4,75$                       d.  $\text{pH} = 12,3$
3.
  - $\text{pH} = 8,6$
  - $[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}] = 0,024 \text{ M}$
5.  $\text{NaHCO}_3(\text{aq}) \longrightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HCO}_3^-(\text{aq})$   
 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) \longrightarrow 2\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$   
 $\text{HCO}_3^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$   
 Penambahan  $\text{H}^+$  ke dalam campuran reaksi tersebut akan dinetralkan oleh ion  $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$  dan kesetimbangan bergeser ke kiri.
7.
  - $\text{pH} = 9,26$
  - $\text{pH} = 9,42$  (setelah penambahan 12 mL  $\text{HCl} 0,2 \text{ M}$ )
9.  $S(\text{MgF}_2 \text{ dalam NaF}) = 0,001 \text{ g L}^{-1}$

## Bab 9 Sistem Koloid

### Tes Kompetensi Subbab A

1. Kecap, sirup, dan air tajin
3. Karena dalam sirup obat batuk mengandung koloid yang bersifat liofob (kurang stabil).
5. Koloid hidrofil: tinta printer dan kecap.
7. Karena partikel-partikel koloid ukurannya lebih besar dibandingkan larutan murni. Akibatnya, cahaya yang melaluinya terhamburkan sehingga menimbulkan warna.
9. Dengan cara mengatur  $\text{pH}$  larutan asam amino maka pada  $\text{pH}$  tertentu ada asam amino bermuatan negatif, positif, dan netral. Kemudian, asam-asam amino tersebut ditempatkan dalam medan listrik. Asam amino yang bermuatan positif akan menuju katode, asam amino yang bermuatan negatif akan menuju anode, sedangkan asam amino netral tidak tertarik oleh kedua elektrode.

### Tes Kompetensi Subbab B

1. Sampai waktu tidak terbatas.
3. Sebab emulsi susu akan rusak (pecah) dengan adanya ion-ion  $\text{H}^+$  dari air jeruk.

### Tes Kompetensi Subbab C

1. Cara mekanik (dispersi).
3. Uap air berubah menjadi awan disebabkan suhu di atmosfer bumi menurun (makin tinggi di atas permukaan bumi, suhunya makin rendah). Adapun di pegunungan, selain suhunya rendah, tekanan udaranya juga rendah (makin tinggi daratan di atas permukaan laut makin rendah tekanan udaranya).
5. AgCl yang terbentuk akan mengendap, tetapi dengan kelebihan ion Cl<sup>-</sup>, AgCl akan mengadsorpsi ion-ion Cl<sup>-</sup> (NaCl berlebih) sehingga terbentuk koloid.

### Evaluasi Kompetensi Bab 9

#### I. Pilihan ganda

1. A    11. C    21. B
3. E    13. A    23. C
5. C    15. A    25. D
7. D    17. D    27. A
9. C    19. D    29. A

#### II. Esai

1.

Variabel	Larutan Sejati	Sistem Koloid
Ukuran partikel (cm)	10 <sup>-8</sup> – 10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup> – 10 <sup>-4</sup>
Tembus oleh cahaya	Transparan	Tidak Transparan
Kestabilan larutan	Sangat stabil	Bervariasi

3. a. Cair dalam gas; b. Padat dalam cair; c. Padat dalam cair; d. Cair dalam cair; e. Cair dalam gas.
5. Lumpur adalah koloid bermuatan negatif yang kurang stabil. Penambahan tawas, KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> atau kapur berguna untuk menetralkan muatan lumpur sehingga lumpur beragregat dan mengendap.
7. Arus listrik bertegangan tinggi dialirkan melalui elektrode logam (bahan terdispersi) yang dicelupkan ke dalam air. Loncatan bunga api listrik mengakibatkan bahan elektrode terurai menjadi atom-atom dan larut ke dalam medium pendispersi air membentuk sol.
9. *Cara busur listrik:* Logam emas dijadikan elektrode yang dicelupkan dalam air. Ketika arus listrik dialirkan melalui elektrode, terjadi bunga api listrik sehingga atom-atom emas menguap dan larut dalam air membentuk sol emas. Sol emas ini distabilkan dengan cara mengadsorpsi ion-ion OH<sup>-</sup> dari air.  
*Cara kondensasi:* Reduksi emas (III) klorida dengan formalin (AuCl<sub>3</sub> + CH<sub>4</sub>O + 3H<sub>2</sub>O → 2Au + 6HCl + CH<sub>4</sub>O<sub>2</sub>). Atom-atom bebas emas ini beragregat membentuk koloid, distabilkan oleh ion-ion OH<sup>-</sup> yang teradsorpsi pada permukaan partikel koloid. Ion-ion OH<sup>-</sup> berasal dari ionisasi air.

### Evaluasi Kompetensi Kimia Semester 2

#### I. Pilihan ganda

1. E    15. D    29. C
3. A    17. C    31. D
5. E    19. B    33. C
7. C    21. D    35. E
9. C    23. B
11. D    25. D
13. C    27. B

#### II. Esai

1. pH = 1,7; pOH = 12,3

3. a. 
$$\underset{\text{asam}}{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} + \underset{\text{basa}}{\text{ClO}^-} \rightleftharpoons \underset{\text{basa}}{\text{HC}_2\text{O}_4^-} + \underset{\text{asam}}{\text{HClO}}$$

konjugat    konjugat
- b. 
$$\underset{\text{basa}}{\text{HPO}_4^{2-}} + \underset{\text{asam}}{\text{NH}_4^+} \rightleftharpoons \underset{\text{basa}}{\text{NH}_3} + \underset{\text{asam}}{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$$

konjugat    konjugat
- c. 
$$\underset{\text{basa}}{\text{SO}_4^{2-}} + \underset{\text{asam}}{\text{H}_2\text{O}} \rightleftharpoons \underset{\text{asam}}{\text{HSO}_4^-} + \underset{\text{basa}}{\text{OH}^-}$$

konjugat    konjugat
- d. 
$$\underset{\text{basa}}{\text{H}_2\text{PO}_4^-} + \underset{\text{asam}}{\text{H}_2\text{O}} \rightleftharpoons \underset{\text{asam}}{\text{H}_3\text{PO}_4} + \underset{\text{basa}}{\text{OH}^-}$$

konjugat    konjugat
- e. 
$$\underset{\text{basa/ asam}}{\text{H}_2\text{PO}_4^-} + \underset{\text{asam/ basa}}{\text{H}_2\text{PO}_4^-} \rightleftharpoons \underset{\text{asam}}{\text{H}_3\text{PO}_4} + \underset{\text{basa}}{\text{HPO}_4^{2-}}$$

konjugat    konjugat
- f. 
$$\underset{\text{asam}}{\text{HCN}} + \underset{\text{basa}}{\text{CO}_3^{2-}} \rightleftharpoons \underset{\text{basa}}{\text{CN}^-} + \underset{\text{asam}}{\text{HCO}_3^-}$$

konjugat    konjugat

5. m NaHPO<sub>4</sub> = 125,67 g
7. K<sub>sp</sub>(MgOH) = 1,8 × 10<sup>-11</sup>
9. Perbedaannya terletak pada sumber pengendap. Pada elektroforesis, muatan penetral berasal dari arus listrik yang dialirkan melalui elektrode, sedangkan larutan elektrolit berasal dari ion-ion garam yang ditambahkan.

### Evaluasi Kompetensi Kimia Akhir Tahun

#### I. Pilihan ganda

1. B    21. B
3. C    23. A
5. E    25. A
7. C    27. C
9. A    29. B
11. C    31. B
13. C    33. A
15. A    35. B
17. C    37. A
19. E    39. D

## II. Esai

- Konfigurasi elektron  $5N = 1s^2 2s^2 2p^1$   
Bilangan kuantum untuk  $1s$  adalah  $n = 1, \ell = 0, m = 0,$   
 $s = \frac{1}{2}$   
Bilangan kuantum untuk  $2s$  adalah  $n = 2, \ell = 0, m = 0,$   
 $s = \frac{1}{2}$   
Bilangan kuantum untuk  $2p$  adalah  $n = 2, \ell = 1, m = 0,$   
 $1, s = +\frac{1}{2}$   
 $y = 8,9$  dan  $x = 0,2$
- Nilai  $\Delta H^\circ$  untuk reaksi:
  - $\Delta H^\circ = (2 \times 283 + 418 + 155) - (4 \times 283 + 167) = -160 \text{ kJ}$
  - $\Delta H^\circ = (432 + 494) - (2 \times 459 + 142) = -134 \text{ kJ}$
  - $\Delta H^\circ = (2 \times 432 + 942) - (4 \times 386 + 167) = +95$
  - $\Delta H^\circ = (413 + 887 + 2 \times 432) - (3 \times 413 + 305 + 2 \times 386) = -152 \text{ kJ}$
- $\Delta H^\circ_{\text{reaksi}}: C_2H_5OH(\ell) \longrightarrow CH_3OCH_3(\ell)$   
 $C_2H_5OH(\ell) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$   
 $\Delta H^\circ = 1234,7 \text{ kJ}$   
 $2CO_2(g) + 3H_2O(g) \longrightarrow C_2H_5OCH_3(\ell) + 3O_2(g)$   
 $\Delta H^\circ = +1328,3 \text{ kJ}$   
 $C_2H_5OH(\ell) \longrightarrow C_2H_5OCH_3(\ell) \Delta H^\circ = 93,6 \text{ kJ}$

$$7. \text{Log } K = -20,28 + \frac{10,56}{T}$$

$$a. K = 0,55$$

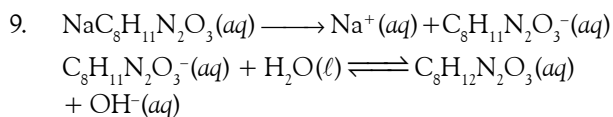
$$b. K = \frac{P_{C_3H_{11}N}}{P_{C_3H_5N} P_{H_2}^2}$$

Jumlah relatif molekul piridin terhadap piperidin

$$\frac{P_{C_3H_5N}}{P_{C_3H_{11}N} K} = \frac{1}{1,82} = 1,82$$

Fraksi piridin dalam campuran

$$= \frac{1,82}{1,82 + 0,55} \times 10\% = 76,8\%$$



$$K_b(C_8H_{11}N_2O_3^-) = \frac{10^{-14}}{3,7 \times 10^{-8}} = 2,7 \times 10^{-7}$$

$$K_b = \frac{(C_8H_{12}N_2O_3)(OH^-)}{(C_8H_{11}N_2O_3)} = \frac{x^2}{0,001}$$

$$x = [OH^-] = 1,64 \times 10^{-5}$$

$$pH = 14 + \log(1,64 \times 10^{-5}) = 9,2$$

Indikator yang cocok adalah fenolftalein (trayek pH 8,5–9,8).



# Apendiks 2



Tabel 1 Entalpi Pembentukan Standar

Zat	$\Delta H_f^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	Zat	$\Delta H_f^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
Ag(s)	0	Cl <sup>-</sup> (aq)	-167,2
Ag <sup>+</sup> (aq)	105,9	HCl(g)	-92,3
AgCl(l)	-127,0	CO(s)	0
AgBr(s)	-99,5	Co <sup>2+</sup> (aq)	-67,36
AgI(s)	-62,4	CoO(s)	-239,3
AgNO <sub>3</sub> (s)	-123,1		
Al(s)	0	Cr(s)	0
Al <sup>3+</sup> (aq)	-524,7	Cr <sup>2+</sup> (aq)	-138,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1669,8	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1128,4
B(s)	0	CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-863,16
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1263,6	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-1460,6
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (s)	-1087,9	Cs(s)	0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (s)	-1067,8	Cs <sup>+</sup> (aq)	-247,69
Ba(s)	0	Cu(s)	0
Ba <sup>2+</sup> (aq)	-538,4	Cu <sup>+</sup> (aq)	51,88
BaO(s)	-558,2	Cu <sup>2+</sup> (aq)	64,39
BaCl <sub>2</sub> (s)	-860,1	CuO(s)	-155,2
BaSO <sub>4</sub> (s)	-1464,4	Cu <sub>2</sub> O(s)	-166,69
BaCO <sub>3</sub> (s)	-1218,8	CuCl(s)	-134,7
Be(s)	0	CuCl <sub>2</sub> (s)	-205,85
BeO(s)	-610,9	CuS(s)	-48,5
Br <sub>2</sub> (l)	0	CuSO <sub>4</sub> (s)	-769,86
Br <sub>2</sub> (aq)	-120,9	F <sub>2</sub> (g)	0
HBr(g)	-36,2	F <sup>-</sup> (aq)	-329,1
C(grafit)	0	HF(g)	-271,6
C(intan)	1,90	Fe(s)	0
CO(g)	-110,5	Fe <sup>2+</sup> (aq)	-87,86
CO <sub>2</sub> (g)	-393,5	Fe <sup>3+</sup> (aq)	-47,7
CO <sub>2</sub> (aq)	-412,9	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-822,2
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-676,3	Fe(OH) <sub>2</sub> (s)	-568,19
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)	-691,1	Fe(OH) <sub>3</sub> (s)	-824,25
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (aq)	-699,7		
CS <sub>2</sub> (g)	115,3	H(g)	218,2
CS <sub>2</sub> (l)	87,9	H <sub>2</sub> (g)	0
HCN(aq)	105,4	H <sup>+</sup> (aq)	0
CN <sup>-</sup> (aq)	151,0	OH <sup>-</sup> (aq)	-229,94
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-333,19	H <sub>2</sub> O(g)	-241,8
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (aq)	-319,2	H <sub>2</sub> O(l)	-285,8
Ca(s)	0	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)	-187,6
Ca <sup>2+</sup> (aq)	-542,96	I <sub>2</sub> (s)	0
CaO(s)	-635,6	I <sup>-</sup> (aq)	55,9
Ca(OH) <sub>2</sub> (s)	-986,6	HI(g)	25,9
CaF <sub>2</sub> (s)	-1214,6	K(aq)	0
CaCl <sub>2</sub> (s)	-794,96	K <sup>+</sup> (aq)	-251,2
CaSO <sub>4</sub> (s)	-1432,69	KOH(s)	-425,85
CaCO <sub>3</sub> (s)	-1206,9	KCl(s)	-435,87
Cl <sub>2</sub> (g)	0	KClO <sub>3</sub> (s)	-391,20

KClO <sub>4</sub> (s)	-433,46	NaNO <sub>3</sub> (s)	-466,68
KBr(s)	-392,17	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s)	-1130,9
KI(s)	-327,65	NaHCO <sub>3</sub> (s)	-947,68
KNO <sub>3</sub> (s)	-492,7	O(g)	249,4
Li(s)	0	O <sub>2</sub> (g)	0
Li <sup>+</sup> (aq)	-278,46	O <sub>3</sub> (aq)	-12,09
Li <sub>2</sub> O(s)	-595,8	O <sub>3</sub> (g)	142,2
LiOH(s)	-487,2	P(putih)	0
Mg(s)	0	P(merah)	-18,4
Mg <sup>2+</sup> (aq)	-461,96	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (aq)	-1284,07
MgO(s)	-601,8	P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (s)	-3012,48
Mg(OH) <sub>2</sub> (s)	-924,66	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-1298,7
MgCl <sub>2</sub> (s)	-641,8	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq)	-1302,48
MgSO <sub>4</sub> (s)	-1278,2	Pb(s)	0
MgCO <sub>3</sub> (s)	-1112,9	Pb <sup>2+</sup> (aq)	1,6
Mn(s)	0	PbO(s)	-217,86
Mn <sup>2+</sup> (aq)	-218,8	PbO <sub>2</sub> (s)	-276,65
MnO <sub>2</sub> (s)	-520,9	PbCl <sub>2</sub> (s)	-359,2
N <sub>2</sub> (g)	0	PbS(s)	-94,3
N <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)	245,18	PbSO <sub>4</sub> (s)	-918,4
NH <sub>3</sub> (g)	-46,3	Pt(s)	0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (aq)	-132,80	S(rombik)	0
NH <sub>4</sub> Cl(s)	-315,39	S(monoklinik)	0,30
NH <sub>3</sub> (aq)	-366,1	SO <sub>2</sub> (g)	-296,1
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (l)	50,4	SO <sub>3</sub> (g)	-395,2
NO(g)	90,4	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-624,25
NO <sub>2</sub> (g)	33,85	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-907,5
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (g)	9,66	H <sub>2</sub> S(g)	-20,15
N <sub>2</sub> O(g)	81,56	HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)	-627,98
HNO <sub>2</sub> (aq)	-118,8	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq)	-885,75
HNO <sub>3</sub> (l)	-173,2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (l)	-811,3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)	-206,57	Zn(s)	0
Na(s)	0	Zn <sup>2+</sup> (aq)	-152,4
Na <sup>+</sup> (aq)	-239,66	ZnO(s)	-348,0
Na <sub>2</sub> O(s)	-415,89	ZnCl <sub>2</sub> (s)	-415,89
NaCl(s)	-411,0	ZnS(s)	-202,9
NaI(s)	-288,0	ZnSO <sub>4</sub> (s)	-978,6
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-1384,49		

Sumber: Chemistry, 2002

Tabel 2 Konstanta Disosiasi Asam pada Suhu 25°C

Nama	Rumus	$K_{a1}$	$K_{a2}$	$K_{a3}$
Asam asetat	$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	$1,8 \times 10^{-5}$		
Asam askorbat	$\text{HC}_6\text{H}_7\text{O}_6$	$8,0 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-12}$	
Asam benzoat	$\text{HC}_7\text{H}_5\text{O}_2$	$6,3 \times 10^{-5}$		
Asam borat	$\text{H}_3\text{BO}_3$	$5,8 \times 10^{-10}$		
Asam butanoat	$\text{HC}_4\text{H}_7\text{O}_2$	$1,5 \times 10^{-5}$		
Asam karbonat	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$4,3 \times 10^{-7}$	$5,6 \times 10^{-11}$	
Asam kloroasetat	$\text{HC}_2\text{H}_2\text{O}_2\text{Cl}$	$1,4 \times 10^{-3}$		
Asam klorit	$\text{HClO}_2$	$1,1 \times 10^{-2}$		
Asam sitrat	$\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$	$7,4 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$4,0 \times 10^{-7}$
Asam sianat	$\text{HCNO}$	$3,5 \times 10^{-4}$		
Asam format	$\text{HCHO}_2$	$1,8 \times 10^{-4}$		
Asam hidroazoat	$\text{HN}_3$	$1,9 \times 10^{-5}$		
Asam sianida	$\text{HCN}$	$4,9 \times 10^{-10}$		
Asam flourin	$\text{HF}$	$6,8 \times 10^{-4}$		
Asam sulfur	$\text{H}_2\text{S}$	$9,5 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-19}$	
Asam hipobromit	$\text{HBrO}$	$2,5 \times 10^{-9}$		
Asam hipoklorit	$\text{HClO}$	$3,0 \times 10^{-8}$		
Asam hipiodidit	$\text{HIO}$	$2,3 \times 10^{-11}$		
Asam iodat	$\text{HIO}_3$	$1,7 \times 10^{-1}$		
Asam laktat	$\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_3$	$1,4 \times 10^{-4}$		
Asam malonat	$\text{H}_2\text{C}_3\text{H}_2\text{O}_4$	$1,5 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-6}$	
Asam nitrit	$\text{HNO}_2$	$4,5 \times 10^{-4}$		
Asam oksalat	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$5,9 \times 10^{-2}$	$6,4 \times 10^{-5}$	
Fenol	$\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}$	$1,3 \times 10^{-10}$		
Asam fosfat	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$7,5 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-8}$	$4,2 \times 10^{-13}$
Asam propionat	$\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_2$	$1,3 \times 10^{-5}$		
Asam sulfat	$\text{H}_2\text{SO}_4$	Asam kuat	$1,2 \times 10^{-2}$	
Asam sulfit	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$1,7 \times 10^{-2}$	$6,4 \times 10^{-8}$	
Asam tartarat	$\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$	$1,0 \times 10^{-3}$	$4,6 \times 10^{-5}$	

Sumber: Chemistry: The Central Science, 2000

Tabel 3 Konstanta Disosiasi untuk Basa pada Suhu 25°C

Nama	Rumus	$K_b$
Amonia	$\text{NH}_3$	$1,8 \times 10^{-5}$
Anilin	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	$4,3 \times 10^{-10}$
Dimetilamina	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	$5,4 \times 10^{-4}$
Etilamina	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	$6,4 \times 10^{-4}$
Hidrazin	$\text{H}_2\text{NNH}_2$	$1,3 \times 10^{-6}$
Hidroksilamina	$\text{HONH}_2$	$1,1 \times 10^{-8}$
Metilamina	$\text{CH}_3\text{NH}_2$	$4,4 \times 10^{-4}$
Piridina	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	$1,7 \times 10^{-9}$
Trimetilamina	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	$6,4 \times 10^{-5}$

Sumber: Chemistry: The Central Science, 2000

Tabel 4 Konstanta Hasil Kali Kelarutan Untuk Senyawa pada Suhu 25°C

Nama	Rumus	$K_{sp}$	Nama	Rumus	$K_{sp}$
Barium karbonat	BaCO <sub>3</sub>	$5,0 \times 10^{-9}$	Timbal(II) fluorida	PbF <sub>2</sub>	$3,6 \times 10^{-8}$
Barium kromat	BaCrO <sub>4</sub>	$2,1 \times 10^{-10}$	Timbal(II) sulfat	PbSO <sub>4</sub>	$6,3 \times 10^{-7}$
Barium fluorida	BaF <sub>2</sub>	$1,7 \times 10^{-6}$	Timbal(II) sulfida*	PbS	$3 \times 10^{-28}$
Barium oksalat	BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$1,6 \times 10^{-6}$	Magnesium hidroksida	Mg(OH) <sub>2</sub>	$1,6 \times 10^{-12}$
Barium sulfat	BaSO <sub>4</sub>	$1,1 \times 10^{-10}$	Magnesium karbonat	MgCO <sub>3</sub>	$3,5 \times 10^{-8}$
Kadmium karbonat	CdCO <sub>3</sub>	$1,8 \times 10^{-14}$	Magnesium oksalat	MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$8,6 \times 10^{-5}$
Kadmium hidroksida	Cd(OH) <sub>2</sub>	$2,5 \times 10^{-14}$	Mangan(II) karbonat	MnCO <sub>3</sub>	$5,0 \times 10^{-10}$
Kadmium sulfida*	CdS	$8 \times 10^{-28}$	Mangan(II) hidroksida	Mn(OH) <sub>2</sub>	$1,6 \times 10^{-13}$
Kalsium karbonat (kalsit)	CaCO <sub>3</sub>	$4,5 \times 10^{-4}$	Mangan(II) sulfida*	MnS	$2 \times 10^{-53}$
Kalsium kromat	CaCrO <sub>4</sub>	$7,1 \times 10^{-4}$	Merkuri(I) klorida	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	$1,2 \times 10^{-18}$
Kalsium fluorida	CaF <sub>2</sub>	$3,9 \times 10^{-11}$	Merkuri(I) iodida	Hg <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	$1,1 \times 10^{-28}$
Kalsium hidroksida	Ca(OH) <sub>2</sub>	$6,5 \times 10^{-6}$	Merkuri(II) sulfida*	HgS	$2 \times 10^{-53}$
Kalsium fosfat	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$2,0 \times 10^{-29}$	Nikel(II) karbonat	NiCO <sub>3</sub>	$1,3 \times 10^{-7}$
Kalsium sulfat	CaSO <sub>4</sub>	$2,4 \times 10^{-5}$	Nikel(II) hidroksida	Ni(OH) <sub>2</sub>	$6,0 \times 10^{-16}$
Kromium(III) hidroksida	Cr(OH) <sub>3</sub>	$1,6 \times 10^{-30}$	Nikel(II) sulfida*	NiS	$3 \times 10^{-20}$
Kobalt(II) karbonat	CoCO <sub>3</sub>	$1,0 \times 10^{-10}$	Perak bromat	AgBrO <sub>3</sub>	$5,5 \times 10^{-5}$
Kobalt(II) hidroksida	Co(OH) <sub>2</sub>	$1,3 \times 10^{-15}$	Perak bromida	AgBr	$5,0 \times 10^{-13}$
Kobalt(II) sulfida*	CoS	$5 \times 10^{-22}$	Perak karbonat	Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$8,1 \times 10^{-12}$
Tembaga(I) bromida	CuBr	$5,3 \times 10^{-9}$	Perak klorida	AgCl	$1,8 \times 10^{-10}$
Tembaga(II) karbonat	CuCO <sub>3</sub>	$2,3 \times 10^{-10}$	Perak kromat	Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	$1,2 \times 10^{-12}$
Tembaga(II) hidroksida	Cu(OH) <sub>2</sub>	$4,8 \times 10^{-20}$	Perak iodida	AgI	$8,3 \times 10^{-17}$
Tembaga(II) sulfida*	CuS	$6 \times 10^{-37}$	Perak sulfat	Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$1,5 \times 10^{-5}$
Besi(II) karbonat	FeCO <sub>3</sub>	$2,1 \times 10^{-11}$	Perak sulfida*	Ag <sub>2</sub> S	$6 \times 10^{-51}$
Besi(II) hidroksida	Fe(OH) <sub>2</sub>	$7,9 \times 10^{-16}$	Stronsium karbonat	SrCO <sub>3</sub>	$9,3 \times 10^{-10}$
Lantanum fluorida	LaF <sub>3</sub>	$2 \times 10^{-19}$	Timah(II) sulfida*	SnS	$1 \times 10^{-26}$
Lantanum iodat	La(IO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	$6,1 \times 10^{-12}$	Seng karbonat	ZnCO <sub>3</sub>	$1,0 \times 10^{-10}$
Timbal(II) karbonat	PbCO <sub>3</sub>	$7,4 \times 10^{-14}$	Seng hidroksida	Zn(OH) <sub>2</sub>	$3,0 \times 10^{-16}$
Timbal(II) klorida	PbCl <sub>2</sub>	$1,7 \times 10^{-5}$	Seng oksalat	ZnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,7 \times 10^{-8}$
Timbal(II) kromat	PbCrO <sub>4</sub>	$2,8 \times 10^{-13}$	Seng sulfida*	ZnS	$2 \times 10^{-25}$

\* Untuk kesetimbangan kelarutan jenis  $MS(s) + H_2O(l) \rightleftharpoons M^{2+}(aq) + HS^-(aq) + OH^-(aq)$

Sumber: Chemistry: The Central Science, 2000

Tabel Periodik Unsur

Gas Mulia  
18

PERIODE	Logam Alkali		Logam Alkali Tanah		Golongan										Logam Transisi		Logam Transisi Dalam		Gas Mulia			
	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B	IB	IIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIIB	VIIA	VIIIA	
1	1,0079 1 H																					2 4,0026 0 He
2	6,939 3 Li	9,0122 4 Be																				10 20,18 0 Ne
3	6,941 11 Na	24,312 12 Mg																				18 39,948 0 Ar
4	39,0983 19 K	40,08 20 Ca																				36 83,80 0 Kr
5	85,468 37 Rb	87,62 38 Sr																				54 131,30 0 Xe
6	132,905 55 Cs	137,33 56 Ba																				86 222,02 0 Rn
7	223,02 87 Fr	226,03 88 Ra																				118 - - Uuo

Padat      Cair      Gas  
 Lantanida      Aktinida

Logam - Logam Transisi Dalam

# Senarai

## A

**Adsorpsi** Gejala penempelan zat asing pada permukaan partikel koloid. • 210

**Ampiprotik** Suatu spesi yang dapat berperan sebagai asam maupun sebagai basa bergantung pada jenis pereaksinya. • 154

**Asam Basa Arrhenius** Asam adalah zat yang dapat melepaskan ion  $H^+$  di dalam air sehingga konsentrasi ion  $H^+$  dalam air meningkat. Basa adalah zat yang dapat melepaskan ion  $OH^-$  di dalam air sehingga konsentrasi ion  $OH^-$  dalam air meningkat. • 138

**Asam Bronsted-Lowry** Asam adalah spesi yang bertindak sebagai donor proton. Basa adalah spesi yang bertindak sebagai akseptor proton. • 152

**Asam Basa konjugat** Spesi asam terbentuk karena penambahan ion  $H^+$  ke dalam larutan basa. Spesi basa terbentuk karena pelepasan ion  $H^+$  dari asam. • 152, 153

**Asam kuat** Asam yang di dalam pelarut air mengalami ionisasi sempurna ( $\alpha \approx 100\%$ ). • 141

**Asam lemah** Asam yang kelarutannya di dalam air terionisasi sebagian, sesuai derajat ionisasinya. • 142

**Asam Basa Lewis** Asam adalah spesi yang bertindak sebagai akseptor pasangan elektron bebas dari spesi lain membentuk ikatan kovalen koordinat. Basa adalah spesi yang bertindak sebagai donor pasangan elektron bebas kepada spesi lain membentuk ikatan kovalen koordinat. • 154

**Asam monoprotik** Asam yang dapat melepaskan satu proton (ion  $H^+$ ). • 145

**Asam poliprotik** Asam yang dapat melepaskan lebih dari satu proton (ion  $H^+$ ). • 148

**Aturan Aufbau** Aturan yang menyatakan urutan pengisian elektron dalam orbital berdasarkan tingkat energi. • 12

**Aturan Hund.** Aturan yang menyatakan pengisian elektron pada orbital yang memiliki tingkat energi yang sama. • 13

## B

**Basa kuat** Basa yang di dalam air terionisasi sempurna ( $\approx 100\%$ ). • 142

**Basa lemah** Basa yang terionisasi sebagian. • 142

**Bilangan kuantum** Suatu besaran yang berguna untuk menggambarkan posisi elektron suatu atom dan membedakannya dari elektron yang lain. • 4, 5

**Bilangan kuantum azimut** Bilangan kuantum azimut menentukan bentuk orbital. • 5

**Bilangan kuantum magnetik** Bilangan kuantum ini menunjukkan orientasi (arah orbital) dalam ruang atau orientasi subkulit dalam kulit. • 6

**Bilangan kuantum spin** Bilangan kuantum yang menunjukkan arah rotasi elektron dalam orbital. • 7

**Bilangan kuantum utama** Bilangan kuantum ini menyatakan tingkat energi utama elektron dan sebagai ukuran kebolehjadian ditemukannya elektron dari inti atom. • 5

## C

**Cara Dispersi** Pemecahan partikel-partikel besar menjadi partikel berukuran koloid. • 215

**Cara Kondensasi** Pembentukan agregat dari molekul-molekul kecil berukuran larutan menjadi berukuran koloid. • 216

## D

**Dialisis** Suatu teknik pemurnian koloid yang didasarkan pada perbedaan ukuran partikel-partikel koloid. • 211

**Dipol** Kutub-kutub yang bermuatan positif dan negatif pada suatu senyawa. • 43

## E

**Efek Tyndall** Gejala pemantulan cahaya oleh partikel koloid. • 210

**Elektroforesis** Migrasi partikel koloid dalam medan listrik. • 211

**Energi pengaktifan** Energi minimum yang diperlukan untuk menghasilkan tumbukan efektif agar terjadi reaksi. Energi pengaktifan dilambangkan oleh  $E_a$ . • 92

**Entalpi pembentukan standar** Kalor yang terlibat dalam reaksi pembentukan satu mol senyawa dari unsur-unsurnya, diukur pada keadaan standar. • 63



**Entalpi penguraian standar** Kalor yang terlibat dalam reaksi penguraian satu mol senyawa menjadi unsur-unsurnya, diukur pada keadaan standar. • 64

## G

**Gaya antarmolekul** Gaya yang beraksi di antara molekul-molekul yang menimbulkan tarikan antarmolekul dengan berbagai tingkat kekuatan. • 43

**Gaya Dipol-dipol** Gaya yang terjadi di antara molekul-molekul yang memiliki sebaran muatan tidak homogen, yakni molekul-molekul dipol atau molekul polar. • 43

**Gaya London** Gaya yang terjadi akibat kebolehpolaran atau distorsi “awan elektron” dari suatu molekul membentuk dipol sementara (molekul polar bersifat dipol permanen). • 44

**Gaya van der Waals** Gaya antar molekul kovalen polar yang tidak mempunyai ikatan hidrogen atau ikatan antar molekul nonpolar. • 43, 44

**Gerak Brown** Gerakan acak partikel koloid dalam suatu medium. • 209

## H

**Hibridisasi** Proses pencampuran orbital-orbital atom membentuk orbital baru dengan tingkat energi berada di antara orbital-orbital yang dicampurkan. • 35

**Hidrasi** Proses dimana ion molekul dikelilingi oleh air. • 181

**Hidrolisis** Reaksi ion dengan air yang menghasilkan asam konjugat dan ion hidroksida atau basa konjugat dan ion hidronium. • 182

**Hukum Hess** Aturan yang menyatakan bahwa entalpi hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir reaksi maka perubahan entalpi tidak bergantung pada jalannya reaksi (proses). • 64

## I

**Ikatan hidrogen** Ikatan yang terbentuk pada senyawa-senyawa polar yang mengandung atom H dan atom yang memiliki keelektronegatifan tinggi, seperti F, O, N, dan Cl. • 46

**Indikator asam basa** Senyawa yang memberikan warna berbeda dalam larutan asam dan larutan basa. • 169

## J

**Jelifikasi** Proses pembentukan jeli. • 208

## K

**Katalis** Zat yang ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam suatu sistem reaksi untuk mempercepat reaksi. • 86

**Katalis heterogen** Katalis yang berbeda fasa dengan pereaksi. • 87, 95

**Katalis homogen** Katalis yang memiliki fasa yang sama dengan pereaksi. • 87

**Kecepatan reaksi** Perubahan konsentrasi molar pereaksi atau hasil reaksi per satuan waktu. • 80

**Kesetimbangan kimia** Suatu kondisi di mana laju reaksi pembentukan sama dengan laju reaksi penguraian. • 104

**Kesetimbangan heterogen** Reaksi kesetimbangan jika pereaksi dan hasil reaksi berbeda fasa. • 108

**Kesetimbangan homogen** Reaksi kesetimbangan jika pereaksi dan hasil reaksi memiliki fasa yang sama. • 108

**Koloid** adalah dispersi zat dengan ukuran partikel terdispersi antara  $10^{-7}$  cm sampai dengan  $10^{-5}$  cm. • 206

**Koloid liofil** adalah partikel koloid yang menyukai medium pendispersinya. • 207

**Koloid liofob** adalah partikel koloid yang tidak menyukai medium pendispersinya. • 207

**Konstanta ionisasi asam ( $K_a$ )** Konstanta kesetimbangan ionisasi asam dalam air yang merupakan hasil bagi konsentrasi produk dengan konsentrasi reaktan. • 142

**Konstanta ionisasi basa ( $K_b$ )** Konstanta kesetimbangan ionisasi basa dalam air yang merupakan hasil bagi konsentrasi produk dengan konsentrasi reaktan. • 143

**Konfigurasi elektron** Penyusunan elektron-elektron dalam kulit atom berdasarkan tingkat energinya. • 18

## L

**Larutan penyangga** Larutan yang mengandung campuran dari pasangan asam lemah dan basa konjugat atau basa lemah dan asam konjugatnya. • 187



**M**

**Mekanika kuantum.** Teori atom yang menyatakan bahwa gerakan elektron dalam mengelilingi inti bersifat seperti gelombang. • 4

**O**

**Orbital** Daerah tempat elektron dalam atom. • 8

**P**

**Periode** Letak unsur dalam sistem periodik yang menunjukkan nomor kulit terbesar. • 19

**Persamaan kecepatan reaksi** Persamaan yang menyatakan hubungan antara kecepatan reaksi dan konsentrasi molar pereaksi dipangkatkan tingkat reaksi atau orde reaksinya. • 88

**Persamaan Schrodinger** Persamaan yang digunakan untuk memperkirakan daerah kebolehjadian ditemukannya elektron. • 4

**Persamaan termokimia** Persamaan reaksi kimia yang menunjukkan jumlah mol yang bereaksi dan nilai perubahan entalpi. • 57

**pH** Skala logaritma untuk menyatakan derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan. • 145

**Prinsip Ketidakpastian Heisenberg** Teori yang menyatakan bahwa keberadaan elektron dalam lintasan tidak dapat ditentukan dengan pasti, yang dapat ditentukan hanya daerah kebolehjadian ditemukan elektron. • 4

**Promotor** Bahan yang menjadikan katalis lebih efektif. Misalnya, untuk meningkatkan aktivitas katalitik dari besi oksida. • 95

**R**

**Reaksi eksoterm** Reaksi kimia yang menghasilkan kalor. • 55

**Reaksi endoterm** Reaksi kimia yang menyerap atau menerima kalor. • 55

**Reaksi netralisasi** Reaksi antara asam dan basa yang menghasilkan garam dan air. • 165

**T**

**Teori tumbukan** Kecepatan reaksi ditentukan oleh faktor frekuensi tumbukan efektif ( $f$ ) dan orientasi tumbukan ( $p$ ). • 91

**Tetapan hasil kali kelarutan ( $K_{sp}$ )** Hasil kali konsentrasi ion-ion dalam larutan jenuh. • 195

**Titik akhir titrasi** Kondisi pada saat terjadi perubahan warna indikator. • 170, 173

**Titik ekuivalen (setara) titrasi** Kondisi pada saat larutan asam tepat bereaksi dengan larutan basa. • 172

**Titrasi** Metode analisis kuantitatif untuk menentukan kadar suatu larutan. • 170



# Indeks

## A

adsorpsi 93, 210  
akseptor proton 152, 154, 155  
alkalosis 192  
amonia 29, 58, 66, 68, 95, 105, 112, 120, 122, 145, 146  
ampiprotik 156  
asam  
    Arrhenius 138, 139, 151, 152  
    Bronsted-Lowry 151, 152, 154  
    Lewis 154, 155  
    konjugat 152, 153  
    kuat 140, 141, 145, 146  
    lemah 142, 143, 147  
    monoprotik 145, 146, 147  
    pekat 164, 168  
    poliprotik 148, 149, 150  
aturan Aufbau 12  
aturan Hund 13

## B

bahan bakar hidrogen 72  
basa  
    konjugasi 152, 153  
    kuat 141, 142, 145, 178  
    lemah 142, 143, 147  
batu bara 71  
bentuk molekul 28  
bentuk orbital 8  
bilangan kuantum 4, 5  
biodiesel 72  
bioenergi 72

## D

dinamis 104  
dipol 43  
donor proton 152, 154, 155

## E

efek Tyndall 209, 210  
eksoterm 55  
elektroforesis 211, 212  
elektron 2, 5, 6, 12  
empirik 59  
    semiempirik 63

emulsi 207, 208, 216  
endoterm 55  
energi ikatan 66  
    rata-rata 67  
energi matahari 71  
entalpi 63

## G

garam 152, 155, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186  
gaya antarmolekul 43  
gaya van der Waals 43, 44, 210  
gerak Brown 209, 211  
golongan 18

## H

Haber, Fritz 120  
Hess, Germain Henri 64  
heterogen 87, 95, 108, 206  
hidrofil 207, 208, 212  
hidrofob 207, 208, 212  
hidrolisis 180, 181, 182, 183, 184, 186, 216, 217  
homogen 87, 108, 205, 206  
hukum Hess 64

## I

ikatan hidrogen 46  
indikator asam basa 168, 169, 170, 171  
ion senama 187, 197

## K

katalis 86  
kecepatan reaksi 81, 82  
kelarutan 163, 195, 196, 197, 198, 217  
kesetimbangan 179, 181, 182, 183, 184, 185, 187, 188, 195  
kesetimbangan air 146  
koloid 205, 206, 207, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 216  
konfigurasi elektron 18  
konstanta hasil kali kelarutan 195, 196, 197, 198, 199

## L

laju reaksi 82  
larutan penyangga 181, 187, 191, 192, 193, 194,  
195  
larutan sejati 206, 207, 209  
liofil 207, 208  
liofob 209  
luas permukaan sentuh 85

## O

oktahedral 29  
orbital 8  
Ostwald, Wilhelm 96

## P

pengenceran 192, 194, 195  
pengendapan 163, 197, 199  
penguraian 140  
periode 19  
prinsip larangan Pauli 13

## R

reaksi  
asam basa 151, 152, 154, 155  
penghasil gas 163

## S

sol 207, 208, 212, 215, 216, 217  
sumber energi baru 70  
sumber energi terbarukan 72  
suspensi 206, 207, 212, 213, 215, 216

## T

teori domain elektron 29  
teori mekanika kuantum 4  
termokimia 57  
tetapan asam ( $K_a$ ) 142, 143, 144, 146, 148, 149  
tetapan basa ( $K_b$ ) 143, 144, 147  
tingkat energi orbital 10  
titik akhir 170, 171, 173, 174  
titrasi 161, 166, 168, 169, 170, 171, 173, 174

## Daftar Pustaka

- Acmad, H.T. 1991. *Penuntun Belajar Kimia: Stoikiometri dan Energetika*. Bandung: PT Citra Aditya Bakti.
- Anderton, J.D., et al. 1997. *Foundations of Chemistry. 2<sup>nd</sup> Edition*. Australia: Addison Wesley Longman Australia Pty Ltd.
- Brady, J.E., Senese, F. 2004. *Chemistry: Matter and its Changes. 4<sup>th</sup> Edition*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Brady, and Humiston. 1990. *General Chemistry. 4<sup>th</sup> Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Brown, T.L., Lemay, H.E., and Bursten, B.E. 2000. *Chemistry: The Central Science. 8<sup>th</sup> Edition*. New Jersey: Prentice Hall International, Inc.
- Chang, R. 1994. *Chemistry. 5<sup>th</sup> Edition*. New York: Mc Graw–Hill, Inc
- Chang, R. 2002. *Chemistry. 7<sup>th</sup> Edition*. New York: Mc Graw–Hill, Inc.
- Drews, F.K.M., 2000. *How to study Science. 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: Mc Grow–Hill.
- Ebbing, Darrel, D., and Wrighton., Mark, S. 1990. *General Chemistry. 3<sup>rd</sup> Edition*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Fullick, A., and Fullick, P. 2000. *Heinemann Advanced Science: Chemistry. 2<sup>nd</sup> Edition*. Spain: Heinemann Educational Publisher.
- Malone, L.J. 1994. *Basic Concepts of Chemistry. 4<sup>th</sup> Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mc Murry, J., and Fay, R. C. 2001. *Chemistry. 3<sup>rd</sup> Edition*. New Jersey: Prentice–Hall, Inc.
- Millio, F.R. 1991. *Experiment in General Chemistry*. New York: Saunders College Publishing.
- Moelller, and Therald, et.al. 1989. *Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis*. San Diego: Harcourt Brace Jovanovich Publisher.
- Murov, S.B., and Stedjee. 2000. *Experiments and Exercises in Basic Chemistry. 5<sup>th</sup> Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Olmsted, J., and Williams, G.M. 1997. *Chemistry: The Molecular Science. 2<sup>nd</sup> Edition*. Dubuque: Wim. C. Brown.
- Oxtoby., David, W., Nachtrieb., and Norman, H. 1987. *Principles of Modern Chemistry*. Philadelphia: Saunders Golden Sunburst Series.
- Petrucci, R.H., and William, H. 1997. *General Chemistry Principles and Modern Application. 7<sup>th</sup> Edition*. New Jersey: Prentice–Hall, Inc.
- Publisher Team. 1995. *Chemistry Today: The World Book Encyclopedia Of Science*. Chicago: World Book, Inc.
- Publisher team. 1992. *Chemistry (Topical)*. Selangor: University Book Store (M) SDN BHD.
- Pusat Penerjemah FSUI. 1997. *Jendela IPTEK: Materi*. Edisi Bahasa Indonesia. Jakarta: Balai Pustaka.
- Pusat Penerjemah FSUI. 1997. *Jendela IPTEK: Kimia*. Edisi Bahasa Indonesia. Jakarta: Balai Pustaka.
- Ryan, L. 2001. *Chemistry For You*. Revised National Curriculum Edition For GCSE. Spain: Stanley Thornes (Publishers), Ltd.
- Retsu, S. R. Sougou Kagashi. Tokyo: Keirinkan.
- Sevenair, J.P., and Burkett, A.R. 1997. *Introductory Chemistry. 1<sup>st</sup> Edition*. Dubuque: Wm.C.Brown Communications, Inc.
- Schwartz, A.T., et. al. 1997. *Chemistry in Context. 2<sup>nd</sup> Edition*. Dubuque: Times Mirror Higher Education Group, Inc.
- Sunarya, Y. 2003. *Kimia Dasar I: Berdasarkan Prinsip-prinsip Terkini*. Edisi ke-1. Bandung: Gracia Indah Bestari.
- Sunarya, Y. 2003. *Kimia Dasar II: Berdasarkan Prinsip-prinsip Terkini*. Edisi ke-1. Bandung: Gracia Indah Bestari.
- Taylor, C., and Pople, S. 1995. *The Oxford Children's Book of Science*. New York: Oxford University Press
- Zumdahl., and Steven, S. 1989. *Chemistry. 2<sup>nd</sup> Edition*, Lexington: D. C Heath and Company.

### Sumber lain:

<http://nobelprize.org>  
[www.anbg.gov](http://www.anbg.gov)  
[www.art-mind.org](http://www.art-mind.org)  
[www.bauerundguse.de](http://www.bauerundguse.de)  
[www.chemistryexplained.com](http://www.chemistryexplained.com)  
[www.dbhs.wvusd.k12.ca.us](http://www.dbhs.wvusd.k12.ca.us)  
[www.iptek.net.id](http://www.iptek.net.id)  
[www.menlh.go.id](http://www.menlh.go.id)  
[www.petrosa.com](http://www.petrosa.com)  
[www.powerlabs.org](http://www.powerlabs.org)  
[www.pu.go.id](http://www.pu.go.id)  
[www.thoit.com](http://www.thoit.com)

ISBN 978-979-068-721-9 (No. Jld lengkap)

ISBN 978-979-068-723-3

**Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.**

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp.16.315,-