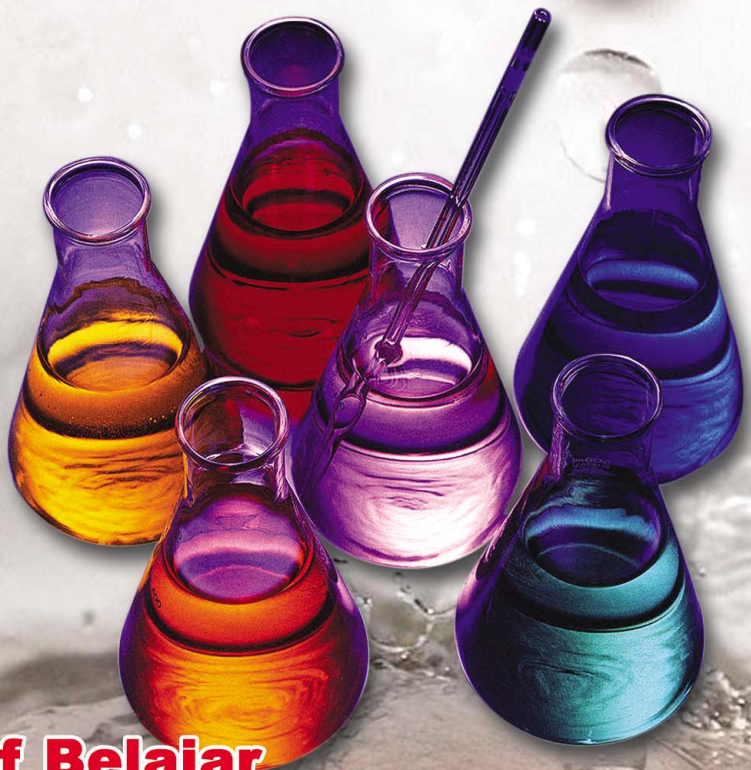
BUKU SEKOLAH ELEKTRONIK
bse

Elisabeth Deta Lustiyati
Jauharotul Farida
Sugiyarto



Aktif Belajar Kimia

Untuk SMA & MA

Kelas XII

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Elisabeth Deta Lustiyati
Jauharotul Farida
Sugiyarto

Aktif Belajar Kimia XII

SMA & MA

Elisabeth Deta Lustiyati
Jauharotul Farida
Sugiyarto



Aktif Belajar

Kimia

Untuk SMA & MA

Kelas XII

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta Pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Oleh Undang-undang

Aktif Belajar Kimia

Penulis:
Elisabeth Deta Lustiyati
Jauharotul Farida
Sugiyarto

Editor ahli:
Crys Fajar P

Editor:
Pera Tri Hastuti

Setting/Layout:
Wiwik

Perwajahan:
Wahyudin M. Anwar

Ilustrator:
Adi Wahyono

Ukuran:
17,6 x 25 cm

540.7
ELI
a

ELISABETH Deta Lustiyati
Aktif Belajar Kimia : untuk SMA dan MA Kelas XII / penulis, Elisabeth Deta Lustiyati, Jauharotul Farida, Sugiyarto; editor, Pera Tri Hastuti ; ilustrator, Adi Wahyono . — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009
vi, 274 hlm. : ilus. ; 25 cm.

Bibliografi : hlm. 274
Indeks
ISBN 978-979-068-733-2 (no. jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-736-3

1. Kimia-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Jauharotul Farida III. Sugiyarto IV. Crys Fajar P V. Pera Tri Hastuti VI. Adi Wahyono

Hak Cipta Buku ini telah dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional
Dari Penerbit Mediatama

Buku ini 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

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan buku **Aktif Belajar Kimia XII** untuk Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah.

Setiap konsep materi dibahas secara rinci dengan contoh-contoh yang mudah dipahami menggunakan ilustrasi yang sesuai dan menarik, serta gaya bahasa yang komunikatif. Penyajian materi diusahakan mempunyai relevansi dengan kehidupan sehari-hari, lingkungan siswa atau dengan dunia industri, sehingga ilmu kimia tidak terasa asing bagi para siswa yang baru belajar kimia tetapi menjadi menarik bagi siswa. Pelaksanaan praktikum/kegiatan yang sesuai dengan materi, mudah dilaksanakan, aman, namun tetap mengena pada sasaran pemahaman terhadap materi, dan memudahkan siswa memahami materi secara utuh dan lebih mendalam. Kemudian pada akhir bab diberikan sejumlah soal yang tidak hanya mengukur kemampuan kognitif siswa, tetapi juga mengukur kemampuan afektif dan psikomotorik siswa.

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

Surakarta, Mei 2007

Tim Penyusun

Daftar Isi

Kata Sambutan iii

Kata Pengantar iv

Daftar Isi v

Bab I. Sifat Koligatif Larutan **1**
A. Kemolalan dan Fraksi Mol 2
B. Sifat Koligatif Larutan Nonelektrolit 5
C. Sifat Koligatif Larutan Elektrolit 22
D. Kegunaan Sifat Koligatif 31

Bab II. Reaksi Redoks dan Elektrokimia **39**
A. Reaksi Reduksi-Oksidasi (Redoks) 40
B. Sel Elektrokimia 49
C. Hukum Faraday 84
D. Aplikasi Sel Elektrolisis 89
E. Korosi 94

Bab III. Kimia Unsur **103**
A. Kelimpahan Unsur di Alam dan Identifikasinya 104
B. Sifat Unsur 115
C. Kegunaan dan Dampak Penggunaan Unsur/ Senyawa 135
D. Pembuatan Unsur dan Senyawanya 142
E. Unsur-unsur Radioaktif 147

Latihan Semester I **159**

Bab IV. Senyawa Turunan Alkana 163
A. Pengertian Gugus Fungsi 165
B. Senyawa Turunan Alkana 166
C. Keisomeran 185
D. Reaksi-reaksi Senyawa Turunan Alkana 194

Bab V. Benzena dan Turunannya **207**
A. Rumus Struktur Benzena dan Sifat Aromatiknya 208

B. Struktur dan Tata Nama Turunan Benzena 210
C. Sifat dan Reaksi Benzena 213
D. Kegunaan Benzena dan Turunannya..... 215

Bab VI. Makromolekul **225**
A. Polimer..... 226
B. Karbohidrat..... 234
C. Protein 246
D. Lemak dan Minyak 252

Latihan Semester II **263**

Latihan Akhir Tahun **266**

Glosarium **271**

Daftar Pustaka **278**

Indeks **280**

Lampiran **284**

Kunci Latihan **294**

Bab I

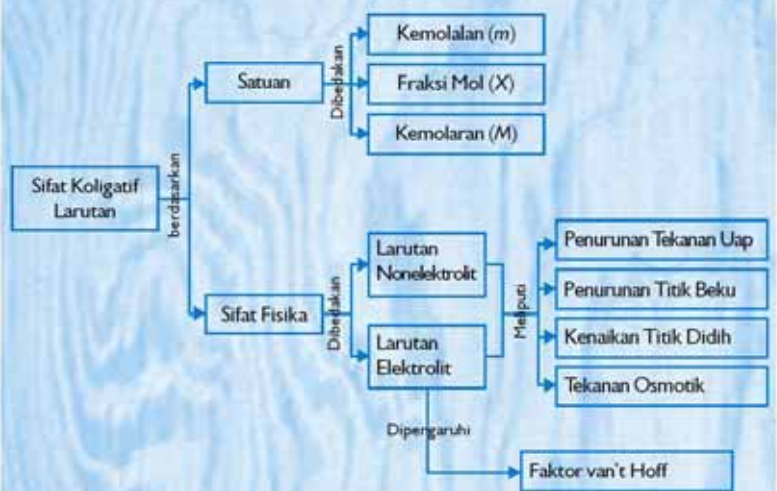
Sifat Koligatif Larutan

Sumber gambar: CD Image

Tujuan Pembelajaran:

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan dan membandingkan sifat koligatif (penurunan tekanan uap, kenaikan titik didih, penurunan titik beku larutan, dan tekanan osmotik) larutan nonelektrolit dan elektrolit.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Larutan elektrolit
2. Larutan nonelektrolit
3. Tekanan uap
4. Titik beku
5. Titik didih
6. Tekanan osmotik
7. Konsentrasi



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer 4*
Gambar 1.1 *Penambahan etilena glikol ke dalam radiator*

Tahukah kalian musim dingin di luar negeri? Musim dingin di luar negeri suhunya bisa mencapai 0°C atau di bawahnya. Air termasuk air radiator (pendingin mesin) akan membeku pada suhu tersebut. Penambahan etilena glikol $CH_2(OH)CH_2(OH)$, menyebabkan air dalam radiator mobil tidak membeku pada –5°C (saat musim dingin) dan tidak mendidih pada 110°C (saat suhu mesin panas). Perbandingan antara etilena glikol dan air yang tepat mampu mempertahankan suhu larutan hingga –48°C dan 113°C. Pada peristiwa di atas, etilena glikol digunakan untuk menurunkan titik beku dan menaikkan titik didih larutan.

Penurunan titik beku dan kenaikan titik didih merupakan contoh sifat koligatif larutan. Sifat koligatif yang lain adalah penurunan tekanan uap dan tekanan osmotik. Sifat koligatif larutan merupakan sifat fisika yang hanya tergantung pada jumlah partikel dan bukan pada jenis zat terlarut.

A. Kemolalan dan Fraksi Mol

Konsentrasi dapat dinyatakan dalam berbagai cara, antara lain: kemolaran, kemolalan, fraksi mol, persen, bpj (bagian per juta), dan sebagainya. Konsentrasi yang sering dipakai dalam sifat koligatif adalah kemolalan dan fraksi mol.

1. Kemolalan (m)

Seperti diuraikan sebelumnya, penambahan etilen glikol menyebabkan penurunan titik beku larutan dalam radiator mobil. Penurunan titik beku ini berhubungan dengan jumlah zat terlarut yaitu kemolalan.

Kemolalan/molalitas merupakan perbandingan antara jumlah mol zat terlarut dengan massa (kg) zat pelarut. Secara matematik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Kemolalan } (m) = \frac{\text{jumlah mol zat terlarut}}{\text{massa (kg) zat pelarut}}$$

Contoh soal 1.1:

Tentukan kemolalan 0,02 mol HCl yang dilarutkan dalam 50 gram air!

Penyelesaian:

Jumlah mol zat terlarut (HCl) = 0,02 mol

$$\text{Massa pelarut (air)} = 50 \text{ gram} = \frac{50}{1000}\text{kg} = 0{,}05 \text{ kg}$$

$$\text{Kemolalan} = \frac{\text{jumlah mol zat terlarut}}{\text{massa (kg) zat pelarut}} = \frac{0{,}02 \text{ mol}}{0{,}05 \text{ kg}} = 0{,}4\ m$$

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 1.1

1. Tentukan kemolalan larutan gula, apabila 34,2 gram sukrosa (gula pasir), $C_{12}H_{22}O_{11}$ dilarutkan dalam 250 mL air! (A_r H = 1, C = 12, O = 16, ρ air = 1,0 g mL^{-1})
2. Salah satu jenis minuman keras (yaitu wiski) mempunyai kadar etil alkohol C_2H_5OH 50% volume. Jika massa jenis etil alkohol tersebut 0,789 g mL^{-1}, berapa kemolalan wiski tersebut?
3. Pupuk urea, $(NH_2)_2CO$ diperlukan untuk memenuhi kebutuhan nitrogen tumbuhan. Apabila terdapat 100 mL pupuk urea cair dengan konsentrasi 0,4 M dan massa jenis larutan urea 1,1 g mL^{-1}, maka tentukan kemolalan pupuk tersebut! (A_r N = 14, C = 12, O = 16)

4. Apabila akan membuat larutan NaOH 0,04 *m* dan digunakan 500 mL air untuk melarutkan NaOH, tentukan:
   a. massa NaOH yang dibutuhkan!
   b. langkah kerja pembuatan larutan NaOH tersebut!

2. Fraksi Mol (*X*)

Salah satu cara untuk menyatakan banyaknya partikel zat terlarut dan zat pelarut dalam suatu larutan adalah dengan besaran fraksi mol zat terlarut dan fraksi mol zat pelarut. Perbandingan jumlah mol zat pelarut dengan jumlah mol total larutan dinyatakan dengan fraksi mol pelarut (X_p).

Fraksi mol pelarut (X_p) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$X_p = \frac{n_p}{n_p + n_t}$$

Perbandingan jumlah mol zat terlarut dengan jumlah mol total larutan dinyatakan dengan fraksi mol zat terlarut (X_t).

Fraksi mol zat terlarut (X_t) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$X_t = \frac{n_t}{n_p + n_t}$$

Keterangan:

X_p = fraksi mol zat pelarut
X_t = fraksi mol zat terlarut
n_t = jumlah mol zat terlarut
n_p = jumlah mol zat pelarut

Fraksi mol total larutan = $X_t + X_p = 1$ (Mengapa demikian? Jelaskan berdasarkan persamaan di atas!)

Contoh soal 1.2:

Jika 39,875 gram $CuSO_4$ (M_r = 159,5) dilarutkan dalam 90 gram air (M_r=18), tentukan fraksi mol zat terlarut dan fraksi mol zat pelarut!

Penyelesaian:

Jumlah mol zat terlarut ($CuSO_4$)

$$n_t = \frac{\text{massa } CuSO_4}{\text{massa molar } CuSO_4}$$

$$= \frac{39{,}875 \text{ g}}{159{,}5 \text{ g mol}^{-1}} = 0{,}25 \text{ mol}$$

Jumlah mol zat pelarut (H_2O)

$$n_p = \frac{\text{massa } H_2O}{\text{massa molar } H_2O} = \frac{90 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 5 \text{ mol}$$

$$\text{Fraksi mol } H_2O\ (X_p) = \frac{n_p}{n_p + n_t} = \frac{5 \text{ mol}}{5 \text{ mol} + 0{,}25 \text{ mol}} = 0{,}952$$

$$\text{Fraksi mol } CuSO_4\ (X_t) = \frac{n_t}{n_t + n_p} = \frac{0{,}25 \text{ mol}}{5 \text{ mol} + 0{,}25 \text{ mol}} = 0{,}048$$

Jadi, fraksi mol air = 0,952 dan fraksi mol $CuSO_4$ = 0,048

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 1.2

1. Jika 2,34 gram NaCl dilarutkan ke dalam 90 mL air. Tentukan fraksi mol NaCl dalam larutan! (ρ air =1,00 g mL^{-1})
2. Dalam 100 g larutan glukosa, $C_6H_{12}O_6$, terdapat fraksi mol glukosa 0,25. Tentukan:
   a. massa glukosa, dan
   b. massa air dalam larutan!
3. Fosgen, $(Cl)_2CO$, suatu gas beracun yang pernah digunakan dalam Perang Dunia I. Jika 1 mol fosgen terlarut dalam 115 mL etanol, C_2H_5OH. Tentukan:
   a. fraksi mol fosgen, dan
   b. fraksi mol etanol dalam larutan!

   Diketahui: ρ_{etanol} = 1,2 g mL^{-1}, A_r H = 1, C = 12, O = 16, Na = 23, Cl = 35,5.

B. Sifat Koligatif Larutan Nonelektrolit

Sifat pelarut murni berbeda dengan sifat larutannya. Sebagai contoh, air murni membeku pada suhu 0°C, tetapi larutan glukosa akan membeku pada suhu yang lebih rendah dari 0°C. Penambahan zat nonelektrolit, misalnya *antifreeze* (etilena glikol) pada radiator mobil akan menurunkan titik beku air dalam radiator, jadi pada suhu 0°C air radiator tidak membeku.

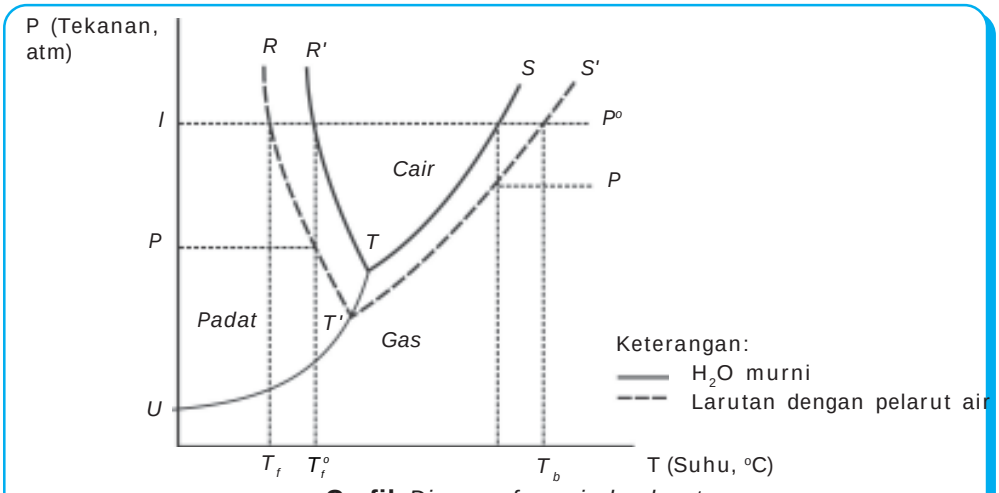
Penurunan titik beku merupakan salah satu contoh sifat koligatif yang bergantung pada jumlah partikel zat terlarut dan tidak bergantung pada jenis partikelnya. Jadi, pada larutan yang berbeda jenisnya tetapi memiliki jumlah partikel sama, akan memiliki sifat koligatif yang sama pula. Hal tersebut dapat diperjelas dengan data eksperimen berikut.

Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh data, bahwa penambahan 0,1 mol glukosa, $C_6H_{12}O_6$, dalam 1000 g air mengakibatkan penurunan titik beku larutan mencapai –0,186°C. Penambahan 0,2 mol glukosa dalam 1000 g air (0,2 *m*) mengakibatkan penurunan titik beku menjadi 2 kalinya. Data titik beku dan titik didih beberapa pelarut nonelektrolit murni dapat kalian lihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Titik Beku dan Titik Didih Beberapa Pelarut Non-elektrolit

Senyawa	Titik Beku (°C)	Titik Didih (°C)
Air murni, H_2O	0	100
Benzena, C_6H_6	5,5	80,1
Karbon tetraklorida, CCl_4	76,8	22,3
Nitrobenzena, $C_6H_5NO_2$	–5,8	210,8
Kloroform, $CHCl_3$	–63,5	61,2

Sifat koligatif antara larutan dengan air murni dapat dipahami lebih jelas melalui grafik *PT* H_2O.



Grafik *Diagram fase air dan laruta...*

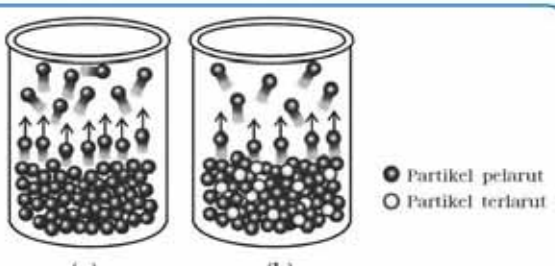
Grafik dengan garis utuh (——) menunjukkan fase pada air murni dengan perubahan P dan T, sedangkan garis terputus (——) menunjukkan perubahan fase pada larutan dalam air. Berdasarkan perubahan P dan T sumbu tegak menunjukkan tekanan uap pada sistem, sedangkan sumbu mendatar menunjukkan suhu. Keseimbangan fase pada H_2O terletak pada T, sehingga T disebut *titik tripel* yang menyatakan keseimbangan pada fase padat, fase cair, dan fase gas. Garis *UTS* menunjukkan keseimbangan antara fase cair dan gas. Garis *UTR* menunjukkan keseimbangan fase cair dan padat. P^o adalah tekanan uap H_2O murni, T^o_{boil} (T^o_b) adalah titik didih pelarut murni (H_2O), dan T^o_{freeze} (T^o_f) adalah titik beku air murni.

Penambahan zat terlarut menyebabkan penurunan titik beku dari T^o_f ke T_f, kenaikan titik didih dari T^o_b ke T_b, dan penurunan tekanan uap dari P^o ke P (ΔP). Berdasarkan penjelasan grafik, pada larutan yang menggunakan pelarut air diperoleh:

1. Tekanan uap larutan lebih rendah daripada pelarut murni.
2. Titik beku larutan lebih rendah daripada pelarut murni.
3. Titik didih larutan lebih tinggi daripada pelarut murni.

1. Penurunan Tekanan Uap Larutan

Penambahan zat terlarut yang tidak mudah menguap ke dalam pelarut murni, akan menurunkan titik beku larutan dan kenaikan titik didih larutan. Kedua hal tersebut terjadi karena tekanan uap larutan (P) lebih rendah daripada tekanan uap pelarut murni (P^o). Mengapa adanya zat terlarut menyebabkan penurunan tekanan uap pada larutan? (Coba kalian pahami ilustrasi Gambar 1.2!)



Gambar 1.2 *Pengaruh zat terlarut terhadap tekanan uap larutan*

Pada keadaan (a) semua partikel zat pelarut dapat menguap sehingga tekanan uap pelarutnya tinggi. Tekanan uap pada keadaan (a) adalah tekanan uap jenuh pelarut murni (P^o). Pada keadaan (b), ke dalam pelarut murni ditambahkan zat pelarut yang lebih sukar menguap dan karena sifat yang lebih sukar menguap tersebut, maka zat terlarut akan tetap berada di dalam larutan. Dengan adanya zat terlarut tersebut, maka hanya sebagian saja zat pelarut yang dapat menguap sehingga terjadi penurunan tekanan uap larutan.

Menurut ahli kimia dari Perancis, yaitu *Francois Raoult* dikatakan bahwa ***"tekanan uap jenuh larutan sama dengan fraksi mol pelarut dikalikan dengan tekanan uap jenuh pelarut murni"***. Pernyataan ini dikenal dengan **Hukum Raoult,** yang secara matematik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = P^o \times X_p$$

Keterangan:

P = tekanan uap jenuh larutan
P^o = tekanan uap jenuh pelarut murni
X_p = fraksi mol zat pelarut

Dengan adanya zat terlarut, maka partikel terlarut menjadi lebih sedikit yang menguap, sehingga memberi tekanan uap jenuh larutan (P) lebih rendah daripada tekanan uap jenuh pelarut (P^o). Dengan demikian terjadi penurunan tekanan uap larutan yang sering disebut dengan penurunan tekanan uap (ΔP).
Penurunan tekanan uap (ΔP) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta P = P^o - P$$

Hubungan antara penurunan (ΔP) dengan fraksi mol zat terlarut (X_t) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta P = P^o \times X_t$$

Coba kalian jelaskan bagaimana rumus tentang penurunan tekanan uap diperoleh! (Gunakan dua persamaan sebelumnya dan $X_t + X_p = 1$)

Tokoh Kimia

Francois Marie Raoult



Francois Marie Raoult lahir di Fournes, Perancis pada 10 Mei 1830. Raoult tinggal di kota kelahirannya hingga meninggal pada 1 April 1901. Ia berasal dari keluarga kurang mampu tetapi karena **kemandirian** yang dimilikinya, Raoult berhasil memperoleh gelar doktor (1863). Pada tahun 1867 ia bekerja di Universitas Grenoble dan tiga tahun kemudian diangkat menjadi guru besar kimia. Kalian pun juga bisa menjadi ilmuwan seperti Raoult asal kalian mau belajar dan bekerja keras.

Penelitian yang telah dilakukan Raoult, salah satunya adalah penelitian tentang titik beku beberapa zat organik yang larut dalam air dan mengemukakan bahwa titik beku larutan tersebut memiliki titik beku yang lebih rendah daripada air murni. Pada tahun 1886 ia mendapati bahwa tekanan uap jenuh larutan sama dengan hasil kali fraksi mol zat pelarut dengan tekanan uap jenuh pelarut murni. Pernyataan tersebut selanjutnya dikenal dengan *Hukum Raoult* dan dapat digunakan untuk menentukan berat molekul zat terlarut serta berguna dalam penjelasan tentang penurunan titik beku dan kenaikan titik didih.

Tekanan uap dari benzena murni pada suhu 25°C adalah 95,1 mmHg dan tekanan uap toluena murni pada suhu yang sama adalah 28,4 mmHg. Apabila suatu larutan terdiri atas toluena dan benzena yang memiliki fraksi mol sama, bagaimana cara memperoleh benzena murni? Cara memperolehnya dengan distilasi. Manakah yang lebih dulu menguap antara benzena dan toluena? Perhatikan penjelasan berikut!

Tekanan uap larutan murni ditentukan terlebih dahulu, perhitungannya sebagai berikut.

$$\left.\begin{array}{l} X_{\text{benzena}} = X_{\text{toluena}} \\ X_{\text{benzena}} + X_{\text{toluena}} = 1 \end{array}\right| X_{\text{benzena}} = X_{\text{toluena}} = 0{,}5$$

a. Tekanan uap total larutan murni

$$\begin{aligned} P_{\text{benzena}} &= X_{\text{benzena}} \times P^{\circ}_{\text{benzena}} \\ &= 0{,}5 \times 95{,}1 \text{ mmHg} = 47{,}6 \text{ mmHg} \\ P_{\text{toluena}} &= X_{\text{toluena}} \times P^{\circ}_{\text{toluena}} \\ &= 0{,}5 \times 28{,}4 \text{ mmHg} = 14{,}2 \text{ mmHg} \\ P_{\text{total}} &= P_{\text{benzena}} + P_{\text{toluena}} \\ &= 47{,}6 \text{ mmHg} + 14{,}2 \text{ mmHg} \\ &= 61{,}8 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

b. *Fraksi mol masing-masing zat pada keseimbangan*

$$X_{\text{uap benzena}} = \frac{47{,}6 \text{ mmHg}}{61{,}8 \text{ mmHg}} = 0{,}77$$

$$X_{\text{uap toulena}} = \frac{14{,}2 \text{ mmHg}}{61{,}8 \text{ mmHg}} = 0{,}23$$

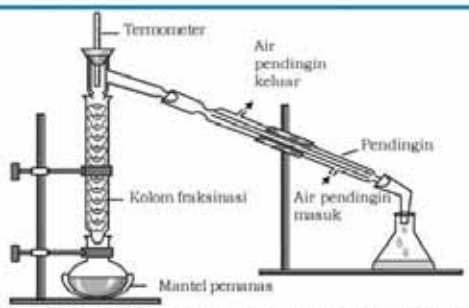
Tekanan uap murni benzena (95,1 mmHg pada suhu 25°C) lebih besar daripada tekanan uap murni toluena (28,4 mmHg pada suhu 25°C). Dalam larutan benzena-toluena, benzena merupakan komponen yang lebih mudah menguap dibandingkan toluena.

Semula $X_{\text{benzena}} = X_{\text{toluena}} = 0{,}5$, kemudian setelah mencapai keseimbangan dengan tekanan uap larutan ternyata X_{benzena} dalam bentuk uap bertambah menjadi 0,77. Jadi, suatu larutan ideal pada keseimbangan tekanan uap, zat yang mudah menguap akan menghasilkan jumlah uap yang lebih banyak daripada zat lain dalam larutan.

Info Kimia

Industri perminyakan juga menggunakan teknik distilasi untuk melakukan pemisahan. Proses distilasi yang digunakan dalam industri minyak bumi adalah distilasi bertingkat (fraksional) yang menghasilkan fraksi-fraksi minyak bumi. Proses industri minyak bumi menghasilkan bensin, solar, minyak tanah, dan senyawa volatil lainnya. Coba kalian sebutkan kegunaan masing-masing fraksi minyak bumi tersebut! Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak bumi, di antaranya di daerah Cilacap, Cepu, dan Kalimantan Timur. Minyak bumi yang berasal dari Indonesia memiliki **kadar belerang yang lebih rendah** daripada minyak bumi yang berasal dari negara-negara Timur Tengah.

Rangkaian sederhana dengan cara penguapan dan kondensasi dapat digunakan untuk memperoleh benzena murni (Gambar 1.3). Berdasarkan hasil perhitungan di atas, tekanan uap, dan fraksi mol benzena lebih besar daripada toluena, sehingga benzena lebih mudah menguap. Uap benzena mengalir pada kolom fraksinasi kemudian mengalami kondensasi dan diperoleh benzena murni.



Gambar 1.3 *Distilasi bertingkat campuran benzena-toluena*

Cara ini disebut distilasi bertingkat, benzena murni akan mengalami kondensasi pada bagian atas kolom, dan toluena zat yang kurang volatil akan tetap sebagai larutan pada labu.

Contoh soal 1.3:

Tekanan uap air pada suhu 30°C adalah 31,82 mmHg. Pada suhu yang sama tentukan:

a. fraksi mol glukosa,

b. tekanan uap 200 mL larutan glukosa 2 M!

(M_r glukosa = 180, M_r air = 18, ρ larutan glukosa = 1,2 g mL^{-1}).

Penyelesaian:

Jumlah mol glukosa = kemolaran glukosa × volume larutan glukosa
= 2 mol L^{-1} × 0,2 L = 0,4 mol

Massa glukosa = mol glukosa × massa molar glukosa
= 0,4 mol × 180 g mol^{-1} = 72 g

Massa larutan = ρ larutan glukosa × volume glukosa
= 1,2 g mL^{-1} × 200 mL
= 240 g

Massa air = massa larutan – massa glukosa
= 240 g – 72 g = 168 g

$$\text{Jumlah mol air} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa molar air}}$$

$$= \frac{168\ \text{g}}{18\ \text{g mol}^{-1}} = 9{,}33\ \text{mol}$$

$$\text{Fraksi mol air} = \frac{\text{mol air}}{\text{mol air} + \text{mol glukosa}}$$

$$= \frac{9{,}33\ \text{mol}}{9{,}33\ \text{mol} + 0{,}4\ \text{mol}} = 0{,}96$$

a. $$\text{Fraksi mol glukosa } (X_t) = \frac{\text{mol glukosa}}{\text{mol glukosa} + \text{mol air}}$$

$$= \frac{0{,}4\ \text{mol}}{0{,}4\ \text{mol} + 9{,}33\ \text{mol}} = 0{,}04$$

b. Tekanan uap larutan $= P = P^o \times X_p$
= 31,28 mmHg × 0,96 = 30,55 mmHg

Jadi fraksi mol glukosa dalam larutan 0,04 dan tekanan uap larutan glukosa pada suhu 30°C adalah 30,55 mmHg.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 1.3

1. Tekanan uap etil alkohol pada suhu 34,9°C adalah 100 mmHg. Tentukan tekanan uap larutan yang mengandung 19 gram urea, $CO(NH_2)_2$, dalam 50 gram etil alkohol pada suhu tersebut!
2. Tekanan uap air pada suhu 27°C adalah 26,74 mmHg. Jika pada suhu yang sama fraksi mol etanol dalam larutan 0,135, tentukan:
   a. tekanan uap larutan, dan
   b. penurunan tekanan uap larutan!
3. Naftalena ($C_{10}H_8$) atau kapur barus digunakan untuk mengusir ngengat. Jika sejumlah naftalena dilarutkan dalam 585 gram benzena dan diketahui pada suhu 50°C larutan tersebut memiliki tekanan uap sebesar 254 mmHg dan tekanan uap pelarut benzena pada suhu 50°C adalah 268 mmHg. Tentukan massa naftalena yang dilarutkan! (Diketahui: M_r naftalena = 128 dan M_r benzena = 78)

2. Penurunan Titik Beku Larutan

Peristiwa perubahan bentuk suatu zat dari cair ke padat disebut membeku, jadi **titik beku** adalah suhu pada saat zat cair mulai membeku. Air murni memiliki titik beku 0°C. Apabila di dalam air dilarutkan sejumlah zat terlarut yang sukar menguap, misalnya gula hingga semua gula larut sempurna dan terbentuk larutan kemudian didinginkan. Berapa titik beku larutan gula tersebut? Ternyata larutan tersebut akan membeku pada suhu di bawah 0°C.

Suhu pada saat air murni sebagai pelarut mulai membeku (0°C) disebut titik beku pelarut (T_f°) dan pada saat larutan gula mulai membeku disebut titik beku larutan (T_f), sedangkan selisih antara titik beku pelarut dengan titik beku larutan disebut penurunan titik beku larutan (ΔT_f). Secara matematis dapat ditulis:

$$\Delta T_f = T_f^\circ - T_f$$

Suatu larutan nonelektrolit 0,1 *m* dengan air murni sebagai pelarut akan membeku pada suhu –0,186°C, untuk konsentrasi 0,2 *m* larutan akan membeku pada suhu –0,372°C = (2 × –0,186°C), dan dengan konsentrasi 0,3 *m* larutan akan membeku pada suhu –0,558°C = (3 × –0,186°C). Berdasarkan data eksperimen tersebut, maka sebanyak 1 *m* larutan nonelektrolit dengan air murni sebagai pelarut akan membeku pada suhu –1,86°C. Pada konsentrasi 1 *m* penurunan titik beku larutan tersebut sebesar 0°C – (–1,86°C) = 1,86°C.

Jadi, akan terjadi penurunan titik beku sebesar 1,86°C tiap molal pada larutan nonelektrolit dengan pelarut air. Nilai 1,86°C m^{-1} selanjutnya disebut dengan *tetapan penurunan titik beku molal pelarut* (air) atau K_f air. Nilai K_f tergantung dari jenis pelarut yang digunakan.

Melalui data eksperimen di atas dapat dirumuskan hubungan antara penurunan titik beku (ΔT_f) dan kemolalan(m) sebagai berikut:

$$\Delta T_f = K_f \times m$$

Keterangan:

ΔT_f = penurunan titik beku larutan (°C)
K_f = tetapan penurunan titik beku molal pelarut (°C m^{-1})
m = kemolalan (m)

Tabel 1.2 Titik Beku dan Tetapan Penurunan Titik Beku Molal Beberapa Pelarut (K_f)

Senyawa	Titik Beku (°C)	K_f (°C m^{-1})
Air murni, H_2O	0	1,86
Kloroform, $CHCl_3$	–63,5	4,86
Benzena, C_6H_6	5,5	5,12
Karbon tetraklorida, CCl_4	76,8	29,8

Contoh soal 1.4:

Tentukan titik beku larutan yang mengandung 3,6 gram glukosa yang dilarutkan dalam 100 gram air!
(K_f air = 1,86°C m^{-1}, M_r glukosa = 180)

Penyelesaian:

$$\text{Jumlah mol zat terlarut (glukosa)} = \frac{\text{massa glukosa}}{\text{massa molar glukosa}}$$

$$= \frac{3{,}6 \text{ g}}{180 \text{ g mol}^{-1}} = 0{,}02 \text{ mol}$$

$$\text{Kemolalan } (m) = \frac{\text{jumlah mol glukosa}}{\text{massa (kg) zat pelarut}} = \frac{0{,}02 \text{ mol}}{0{,}1 \text{ kg}} = 0{,}2\ m$$

$\Delta T_f = K_f \times m$

$= 1{,}86^\circ\text{C}\ m^{-1} \times 0{,}2\ m = 0{,}372^\circ\text{C}$

$\Delta T_f = T_f^\circ - T_f$

$T_f = 0^\circ\text{C} - 0{,}372^\circ\text{C} = -0{,}372^\circ\text{C}$

Jadi, titik beku larutan glukosa tersebut adalah $-0{,}372^\circ$C.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 1.4

1. Larutan dalam radiator mobil mengandung *antifreeze* (etilena glikol). Jika suatu larutan dalam radiator mengandung 6,2 kg etilena glikol, $C_2H_4(OH)_2$ dalam 9,3 kg air. Tentukan titik beku larutan tersebut! (K_f air = $1{,}86^\circ\text{C}\ m^{-1}$).
2. Suatu radiator mobil berisi 26 L air. Tentukan massa etilena glikol, $C_2H_4(OH)_2$ yang perlu ditambahkan ke dalam 26 L air tersebut agar larutan dalam radiator membeku pada suhu -15°C! (K_f air = $1{,}86^\circ\text{C}\ m^{-1}$).
3. Sirup sebagian besar terdiri atas sukrosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) yang terlarut dalam air dengan sejumlah kecil zat perasa dan pewarna. Apabila sirup tersebut membeku pada suhu $-0{,}5^\circ$C. Tentukan kemolalan sirup tersebut dan massa sukrosa dalam sirup yang dilarutkan dalam 1 kg air!

Kerjakan kegiatan berikut untuk mengembangkan **keingintahuan, etos kerja, kecakapan sosial,** dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 1.1

Penurunan Titik Beku Larutan

Tujuan:

1. Menentukan titik beku larutan nonelektrolit.
2. Menyelidiki faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan titik beku larutan.

Alat:

1. Gelas kimia
2. Tabung uji (tabung reaksi)
3. Termometer (–10°C – 100°C)
4. Pengaduk kaca
5. Gelas ukur 25 mL

Bahan:

1. Air suling
2. Urea, $CO(NH_2)_2$
3. Es batu
4. Garam dapur
5. Glukosa, $C_6H_{12}O_6$ 0,1 *m*
6. Glukosa, $C_6H_{12}O_6$ 0,2 *m*
7. Glukosa, $C_6H_{12}O_6$ 0,3 *m*

Cara Kerja:

1. Penentuan titik beku zat pelarut

a. Masukkan butiran kecil es batu ke dalam gelas kimia mencapai ¾ volume gelas kimia.
b. Tambahkan delapan sendok makan garam dapur ke dalam es batu, sehingga terbentuk campuran pendingin yaitu es batu dan garam.
c. Isi tabung uji dengan 20 mL air suling.
d. Masukkan tabung uji ke dalam gelas kimia yang berisi campuran pendingin.
e. Catat suhu air dalam tabung uji setiap setengah menit sampai air membeku dan suhu air tetap.
f. Suhu tetap pada saat air membeku disebut titik beku air (T_f^o).

2. Penentuan titik beku larutan

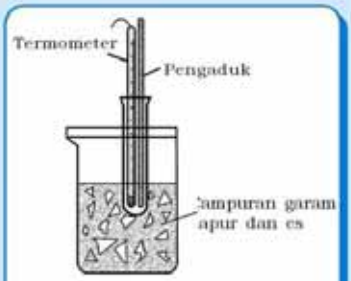
a. Masukkan ½ sendok makan urea dan 20 mL air suling ke dalam tabung uji.
b. Masukkan tabung reaksi tersebut ke dalam gelas kimia yang berisi campuran pendingin.
c. Aduk larutan urea dengan pengaduk kaca.
d. Catat suhu larutan setiap setengah menit.
e. Catat suhu larutan pada saat mulai membeku sebagai titik beku larutan (T_f).

3. Faktor-faktor yang mempengaruhi titik beku larutan

Ulangi kegiatan yang sama dengan penentuan titik beku larutan, tetapi mengganti urea dengan:

a. 20 mL $C_6H_{12}O_6$ 0,1 *m*
b. 20 mL $C_6H_{12}O_6$ 0,2 *m*
c. 20 mL $C_6H_{12}O_6$ 0,3 *m*

Catatan:
Apabila es di dalam campuran pendingin sudah mulai mencair, tambahkan es atau buatlah campuran pendingin untuk mempertahankan suhu di sekitar tabung uji tetap dingin!



Gambar 1.4 *Rangkaian alat percobaan penurunan titik beku*

Hasil Pengamatan:

1. Titik beku zat pelarut/air (T_f°) = . . . °C.
2. Titik beku larutan urea = . . . °C.
3. Titik beku larutan $C_6H_{12}O_6$ dicatat pada tabel di bawah ini!

Data Percobaan untuk Penurunan Titik Beku Larutan

No.	Zat Terlarut	Konsentrasi	Titik Beku Larutan (T_f)	Penurunan Titik Beku Larutan ($\Delta T_f = T_f^\circ - T_f$)
1.	$C_6H_{12}O_6$	0,1 *m*	..... °C	..... °C
2.	$C_6H_{12}O_6$	0,2 *m*	..... °C	..... °C
3.	$C_6H_{12}O_6$	0,3 *m*	..... °C	..... °C

Pertanyaan:

1. Bandingkan titik beku pelarut murni/air dengan titik beku larutan urea! Jelaskan!
2. Bandingkan titik beku larutan-larutan glukosa yang telah kalian kerjakan! Jelaskan!
3. Berdasarkan hasil perhitungan, tentukan penurunan titik beku larutan glukosa 0,1 *m*; 0,2 *m*; dan 0,3 *m* yang telah kalian kerjakan!(K_f air = 1,86°C m^{-1})
4. Bagaimana pengaruh konsentrasi zat terlarut terhadap penurunan titik beku larutan?
5. Apakah kesimpulan dari percobaan di atas? Diskusikan dengan teman kalian!

3. Kenaikan Titik Didih Larutan

Titik didih larutan adalah suhu pada saat tekanan uap jenuh suatu larutan sama dengan tekanan atmosfer di lingkungan sekitar. Pada keadaan tersebut akan terjadi perubahan wujud zat dari cair menjadi gas.

Penambahan zat terlarut yang lebih sukar menguap, misalnya gula ke dalam pelarut (air) hingga terbentuk larutan gula menyebabkan titik didih larutan gula tersebut lebih tinggi daripada titik didih air (yaitu 100°C pada tekanan 760 mmHg). Suhu pada saat air murni mendidih disebut titik didih pelarut (T_b°) dan suhu pada saat larutan mendidih disebut titik didih larutan (T_b). Oleh karena titik didih larutan lebih tinggi daripada titik didih pelarut, maka kenaikan titik didih larutan (ΔT_b) adalah selisih antara titik didih larutan dengan titik didih pelarut. Secara matematis dapat ditulis:

$$\Delta T_b = T_b - T_b^\circ$$

Hasil eksperimen yang telah dilakukan dengan cara melarutkan 1 mol zat nonelektrolit ke dalam 1 kg air murni menghasilkan titik didih larutan sebesar 100,52°C. Kenaikan titik didih larutan tersebut adalah selisih antara titik didih larutan dengan titik didih pelarut yaitu 100,52°C – 100°C = 0,52°C. Apabila 2 mol zat nonelektrolit tersebut dilarutkan ke dalam 1 kg air, maka kenaikan titik didih larutan tersebut adalah 1,04°C (sama dengan 0,52°C × 2).

Jadi, kenaikan titik didih tiap molal zat nonelektrolit yang terlarut dalam air adalah 0,52°C. Nilai 0,52°C m^{-1} disebut dengan *tetapan kenaikan titik didih molal pelarut* (air) atau K_b air. Dari data eksperimen terdapat hubungan berbanding lurus antara titik didih larutan (ΔT_b) dengan kemolalan (m) yang dirumuskan:

$$\Delta T_b = K_b \times m$$

Keterangan:

ΔT_b = kenaikan titik didih larutan (°C)
K_b = tetapan kenaikan titik didih molal pelarut (°C m^{-1})
m = kemolalan (m)

Harga K_b tergantung dari jenis pelarut yang digunakan. Tabel berikut berisi nilai K_b dari beberapa jenis pelarut.

Tabel 1.3 Titik Didih dan Tetapan Kenaikan Titik Didih Molal (K_b) Beberapa Pelarut

Senyawa	Titik Didih (°C)	K_b (°C m^{-1})
Air murni, H_2O	100	0,52
Kloroform, $CHCl_3$	61,2	3,63
Benzena, C_6H_6	80,1	2,53
Karbon tetraklorida, CCl_4	76,8	5,02

Contoh soal 1.5:

Apabila 50 gram gula pasir/sukrosa (M_r sukrosa = 342) dilarutkan dalam 250 mL air dan diketahui K_b = 0,52°C m^{-1}. Tentukan suhu larutan gula tersebut mulai mendidih!

Penyelesaian:

Massa air = ρ air × V air
= 1 g mL^{-1} × 250 mL = 250 g

$$\text{Jumlah mol sukrosa} = \frac{\text{massa sukrosa}}{\text{massa molar sukrosa}}$$

$$= \frac{50 \text{ g}}{342 \text{ g mol}^{-1}} = 0{,}15 \text{ mol}$$

$$\text{Kemolalan} = \frac{\text{jumlah mol sukrosa}}{\text{massa pelarut}}$$

$$= \frac{0{,}15 \text{ mol}}{0{,}25 \text{ kg}} = 0{,}6 \ m$$

$\Delta T_b = K_b \times m$
= 0,52°C m^{-1} × 0,6 m = 0,312°C

$T_b = T_b^o + \Delta T_b$
= 100°C + 0,312°C = 100,312°C

Jadi, larutan gula tersebut mulai mendidih pada suhu 100,312°C.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 1.5

1. Larutan dalam suatu radiator mobil terdiri atas 4,557 kg etilena glikol, $C_2H_4(OH)_2$, yang dilarutkan dalam 10 kg air. Jika diketahui K_b air = 0,52°C m^{-1}, tentukan titik didih larutan radiator tersebut!
2. Sejumlah gula pasir (sukrosa) dilarutkan dalam 200 mL air. Larutan gula tersebut mendidih pada suhu 100,62°C. Tentukan massa gula yang dilarutkan!
   (K_b air = 0,52°C, ρ air = 1,00 g mL^{-1}).
3. *Antifreeze* (etilena glikol) dengan massa tertentu dalam radiator mobil dapat menaikkan titik didih air dalam radiator, sehingga larutan dalam radiator tidak mendidih pada suhu 100°C apabila mesin panas. Apabila kalian menghendaki agar larutan radiator mendidih pada suhu 110,4°C, berapa massa etilena glikol yang harus ditambahkan dalam 8 kg air?

4. Tekanan Osmotik Larutan

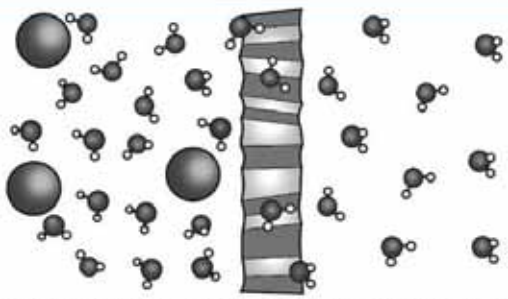
Osmosis memiliki manfaat yang sangat besar dalam kehidupan. Bagi tumbuhan, proses osmosis diperlukan dalam penyerapan air dan mineral dari dalam tanah (Gambar 1.5). Bagi hewan dan manusia, proses osmosis diperlukan untuk distribusi zat makanan ke seluruh sel.



Sumber: *CD Image*

Gambar 1.5 *Distribusi air dan mineral ke seluruh sel tumbuhan menerapkan prinsip osmosis*

Osmosis terjadi pada larutan yang berbeda konsentrasinya dan kedua larutan tersebut dipisahkan oleh membran semipermeabel. Membran semipermeabel hanya dapat dilewati oleh partikel dari zat pelarut. Larutan dengan konsentrasi rendah (larutan encer) memiliki partikel zat pelarut yang lebih banyak daripada larutan dengan konsentrasi tinggi (larutan pekat). Pada peristiwa osmosis partikel zat pelarut dari kedua larutan dapat bergerak melewati membran semipermeabel, akan tetapi kecepatan gerak partikel zat pelarut yang ada dalam larutan konsentrasi rendah lebih besar daripada kecepatan gerak partikel dalam konsentrasi tinggi (Gambar 1.6)



Gambar 1.6 *Laju kecepatan partikel zat pelarut dari konsentrasi rendah saat melewati membran semipermeabel lebih besar daripada arah sebaliknya*

Tekanan yang diperlukan untuk mempertahankan partikel zat pelarut agar tidak berpindah ke larutan konsentrasi tinggi adalah **tekanan osmotik** (π). Proses osmosis terjadi apabila kedua larutan yang dipisahkan oleh membran semipermeabel memiliki tekanan osmotik yang berbeda.

Untuk larutan yang terdiri atas zat nonelektrolit, maka tekanan osmotik (π) berbanding lurus dengan konsentrasi (kemolaran) zat terlarut, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\pi \times V = n \times R \times T$$

$$\pi = \frac{n}{V} \times R \times T$$

$$\pi = M \times R \times T$$

Keterangan:

π = tekanan osmotik (atm)
M = konsentrasi larutan (mol L^{-1})
R = tetapan gas ideal (0,082 L atm mol^{-1} K^{-1})
T = suhu (K)

Contoh soal 1.6:

Tentukan tekanan osmotik larutan glukosa 0,03 M pada suhu 29°C!

Penyelesaian:

$\pi = M \times R \times T$

$= 0{,}03\ \text{M} \times 0{,}082\ \text{L atm mol}^{-1}\ \text{K}^{-1} \times (29 + 273)\text{K} = 0{,}74\ \text{atm}$

Jadi, tekanan osmotik larutan glukosa tersebut adalah 0,74 atm.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 1.6

1. Tentukan tekanan osmotik larutan berikut pada suhu 25°C!
   a. larutan sukrosa 0,025 M
   b. larutan gliserin 0,03 M
2. Konsentrasi gula pada saat keseimbangan pada suhu 27°C adalah 0,01 M. Tentukan tekanan osmotik larutan tersebut pada suhu 27°C!
3. Jika 15 gram pupuk urea, $CO(NH_2)_2$, dilarutkan ke dalam air hingga 250 mL. Tentukan tekanan osmotik larutan tersebut pada suhu 27°C!
4. Seorang pasien akan mendapatkan larutan glukosa melalui infus. Apabila diketahui tekanan darah pada suhu 15°C adalah 7,7 atm dan larutan glukosa yang diinjeksikan harus isotonik dengan darah. Tentukan konsentrasi larutan glukosa dalam infus!

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja, berpikir kritis,** mengembangkan **kecakapan sosial,** dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 1.2

Osmosis

Osmosis adalah peristiwa lewatnya zat terlarut dari konsentrasi rendah ke konsentrasi yang lebih tinggi melalui membran semipermeabel. Membran semipermeabel merupakan sifat dari membran sel makhluk hidup. Peristiwa osmosis dapat kalian amati melalui aktivitas berikut ini.

Siapkan beberapa buah-buahan segar, misalnya wortel dan tomat. Rendam buah-buahan tersebut pada larutan garam pekat dan biarkan minimal 8 jam.

1. Perhatikan apakah ada perubahan fisik pada buah-buahan tersebut! Jika ada, perubahan apa yang terjadi?
2. Jelaskan tentang penyebab terjadinya perubahan tersebut!
3. Apabila buah-buahan segar tersebut diganti dengan buah-buahan yang tidak segar dan direndam dalam air, apa yang terjadi? Diskusikan dengan teman kalian!

C. Sifat Koligatif Larutan Elektrolit

Berdasarkan hasil eksperimen dapat diketahui bahwa jika dilarutkan 0,1 mol suatu zat nonelektrolit yang lebih sukar menguap dalam 1000 gram air menghasilkan titik beku larutan –0,186°C dan apabila 0,2 mol zat nonelektrolit yang dilarutkan, maka titik beku larutan menjadi –0,372°C atau 2 × –0,186°C. Penurunan titik beku larutan merupakan salah satu sifat koligatif larutan dan bergantung pada jumlah partikel terlarut.

Titik beku larutan yang mengandung 0,1 mol garam dapur, NaCl, dalam 1.000 gram pelarut adalah 2 kali lebih rendah (2 × 0,186°C) daripada titik beku 0,1 molal larutan nonelektrolit. Nilai titik beku tersebut juga sama dengan titik beku 0,1 *m* NaOH, 0,1 *m* HNO_3, dan 0,1 *m* HCl.

Bahkan titik beku dari 0,1 mol H_2SO_4 atau 0,1 mol K_2SO_4 yang dilarutkan dalam 1.000 gram air tiga kali lebih rendah (3 × –0,186°C) daripada titik beku 0,1 molal larutan nonelektrolit. Mengapa hal tersebut dapat terjadi? Perhatikan data hubungan antara jumlah partikel zat terlarut elektrolit dan nonelektrolit dengan kenaikan titik didih dan penurunan titik beku larutan (Tabel 1.4).

Tabel 1.4 Data Hubungan antara Jumlah Partikel Zat Terlarut Elektrolit dan Nonelektrolit dengan Kenaikan Titik Didih dan Penurunan Titik Beku Larutan

Senyawa	Konsentrasi Larutan	Kenaikan Titik Didih (°C)	Penurunan Titik Beku (°C)
Nonelektrolit			
$CO(NH_2)_2$	0,1 *m*	0,052	0,186
C_2H_5OH (alkohol)	0,1 *m*	0,052	0,186
$C_6H_{12}O_6$ (glukosa)	0,1 *m*	0,052	0,186
Elektrolit			
NaCl	0,1 *m*	0,104	0,372
NaOH	0,1 *m*	0,104	0,372
HCl	0,1 *m*	0,104	0,372
KNO_3	0,1 *m*	0,104	0,372
H_2SO_4	0,1 *m*	0,156	0,558
K_2SO_4	0,1 *m*	0,156	0,558

Berdasarkan data tersebut larutan elektrolit memiliki sifat koligatif larutan, yaitu *kenaikan titik didih dan penurunan titik beku yang lebih besar daripada larutan nonelektrolit pada konsentrasi yang sama.*

Masih ingatkah kalian tentang sifat zat elektrolit? Suatu zat elektrolit akan mengalami *disosiasi* (penguraian) menjadi ion-ion (kation dan anion) dalam larutan. Garam dapur, NaCl, merupakan salah satu zat elektrolit dan di dalam larutan NaCl akan mengalami ionisasi menjadi Na^+ dan Cl^-. Jadi, larutan NaCl terdiri atas partikel-partikel ion Na^+ dan Cl^-. Zat nonelektrolit dalam larutan terdiri atas molekul-molekul zat terlarut, misalnya larutan urea terdiri atas molekul-molekul urea dengan konsentrasi tetap. Oleh karena larutan elektrolit mengalami ionisasi, sehingga memiliki jumlah partikel yang lebih banyak daripada larutan nonelektrolit, maka sifat koligatif larutan elektrolit berbeda dengan larutan nonelektrolit.

Berdasarkan uraian di atas, maka 0,1 mol NaCl dalam larutan akan terurai menjadi 0,2 mol partikel (ion) dengan persamaan reaksi:

$$NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$$

Hal yang sama juga terjadi pada larutan elektrolit lainnya yaitu NaOH, HCl, dan KNO_3 yang mengalami ionisasi dengan persamaan reaksi:

$NaOH(aq) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$
$HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$
$KNO_3(aq) \rightarrow K^+(aq) + NO_3^-(aq)$

Dari pembahasan di atas, larutan elektrolit memiliki jumlah partikel (ion) yang perlu diperhatikan dalam penentuan sifat koligatif larutan yang dimiliki. Jumlah ion yang terlibat dalam sifat koligatif larutan, khususnya larutan elektrolit encer disebut dengan *faktor van't Hoff (i)*. Faktor van't Hoff adalah faktor yang menunjukkan perbandingan larutan elektrolit dengan nonelektrolit pada kemolalan yang sama. Sifat koligatif larutan elektrolit dapat dirumuskan sebagai berikut (Tabel 1.5).

Tabel 1.5 Sifat Koligatif Larutan Elektrolit

Sifat Koligatif Larutan	Larutan Elektrolit
Penurunan tekanan uap (ΔP)	$\Delta P = P^o \times X_t \times i$
Penurunan titik beku (ΔT_f)	$\Delta T_f = K_f \times m \times i$
Kenaikan titik didih (ΔT_b)	$\Delta T_b = K_b \times m \times i$
Tekanan osmotik (π)	$\pi = M \times R \times T \times i$

Suatu larutan elektrolit A_xB_y mengalami ionisasi menjadi xA^{y+} dan yB^{x-} dengan persamaan reaksi:

	A_xB_y	$\rightarrow$	xA^{y+}	+	yB^{x-}
mula-mula	a		–		–
reaksi	$a\alpha$		$xa\alpha$		$ya\alpha$
hasil reaksi	$a - a\alpha$		$xa\alpha$		$ya\alpha$

Jumlah zat setelah ionisasi $= (a - a\alpha + xa\alpha + ya\alpha)$
$= a(1 - \alpha + x\alpha + y\alpha)$
$= a\{1 - \alpha + (x+y)\ \alpha\}$

apabila $(x + y) = n$, maka $= a(1 - \alpha + n\alpha)$
$= a(1 + n\alpha - \alpha)$
$= a\{1 + (n - 1)\alpha\}$

Perbandingan zat mula-mula dengan zat setelah ionisasi = i

$$i = \frac{a\{1+(n-1)\alpha\}}{a} \rightarrow \boxed{i = 1 + (n-1)\alpha}$$

Keterangan:
i = faktor van't Hoff
n = jumlah partikel (ion) senyawa elektrolit
α = derajat ionisasi

Nilai i untuk zat elektrolit kuat dalam larutan encer sama dengan jumlah ion senyawa tersebut.

$NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$, nilai $i = 2$
$KNO_3(aq) \rightarrow K^+(aq) + NO_3^-(aq)$, nilai $i = 2$
$H_2SO_4(aq) \rightarrow 2H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$, nilai $i = 3$
$MgCl_2(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$, nilai $i = 3$

Zat elektrolit kuat dalam larutan encer dianggap terionisasi sempurna dan derajat ionisasi larutan (α)=1, maka nilai i sama dengan jumlah ion-ion senyawa elektrolit tersebut.

Apabila diketahui K_f air = 1,86°C m^{-1} dan derajat ionisasi CH_3COOH = 0,01. Bandingkan penurunan titik beku larutan 0,2 m asam asetat tersebut dengan 0,2 m urea!
Larutan asam asetat, CH_3COOH, adalah elektrolit lemah dan mengalami ionisasi sebagian ($\alpha < 1$) dalam larutan dengan persamaan reaksi:

	$CH_3COOH(aq)$	$\rightleftharpoons$	$CH_3COO^-(aq)$	+	$H^+(aq)$
mula-mula	0,2 m				
reaksi	0,2 m × 0,01	–	0,2 m × 0,01		0,2 m × 0,01	+
akhir	0,198 m		0,002 m		0,002 m	

Jumlah partikel dalam CH_3COOH = 0, 198m + 0,002m + 0,002m
= 0,202 m

$\Delta T_f = K_f \times m$
= 1,86°C m^{-1} × 2,022 m
= 0,37572°C

Penurunan titik beku larutan 0,2 m asam asetat adalah 0,37572°C.

Urea, $CO(NH_2)_2$, merupakan larutan nonelektrolit dan tidak mengalami ionisasi dalam larutan.

$\Delta T_f = K_f \times m$
$= 1{,}86^\circ C\ m^{-1} \times 0{,}2\ m$
$= 0{,}372^\circ C$

Penurunan titik beku larutan asam asetat hampir sama dengan larutan urea pada konsentrasi yang sama. Pengaruh derajat disosiasi (α) larutan elektrolit lemah sangat kecil dalam sifat koligatif larutan. Jadi, nilai faktor van't Hoff (i) pada elektrolit lemah dapat dianggap sama dengan 1.

Contoh soal 1.7:

Apabila 5,55 gram $CaCl_2$ dilarutkan dalam 250 gram air dan diketahui K_f air = 1,86°C m^{-1}, A_r Ca = 40, Cl = 35,5. Tentukan titik beku larutan tersebut!

Penyelesaian:

$CaCl_2$ merupakan zat elektrolit kuat yang akan mengalami ionisasi dalam larutan, sehingga faktor van't Hoff sama dengan jumlah kation dan anion senyawa tersebut ($i = n$).
$CaCl_2(aq) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$, jadi nilai $i = 3$

$$\text{Jumlah mol } CaCl_2 = \frac{\text{massa } CaCl_2}{\text{massa molar } CaCl_2} = \frac{5{,}55\text{ g}}{111\text{ g mol}^{-1}} = 0{,}05\text{ mol}$$

$$\text{Kemolalan} = m = \frac{\text{jumlah mol } CaCl_2}{\text{massa pelarut}} = \frac{0{,}05\text{ mol}}{0{,}25\text{ kg}} = 0{,}2\ m$$

$\Delta T_f = K_f \times m \times i$
$= 1{,}86^\circ C\ m^{-1} \times 0{,}2\ m \times 3$
$= 1{,}116^\circ C$

$\Delta T_f = T_f^\circ - T_f$

$T_f = T_f^\circ - \Delta T_f$
$= 0^\circ C - 1{,}116^\circ C = -1{,}116^\circ C$

Jadi, titik beku larutan tersebut −1,116°C.

Contoh soal 1.8:

Urutkan larutan berikut berdasarkan kenaikan titik didihnya!

a. CH_3COOH 0,2 *m*
b. $CaCl_2$ 0,2 *m*
c. $CO(NH_2)_2$ (urea) 0,2 *m*

Penyelesaian:

Larutan-larutan di atas memiliki konsentrasi 0,2 *m* dan pelarut yang sama yaitu air. Oleh karena itu kenaikan titik didih larutan perlu memperlihatkan faktor van't Hoff (i) masing-masing larutan.

a. CH_3COOH (asam asetat) merupakan zat elektrolit lemah dan hanya mengalami ionisasi sebagian dalam larutan, sehingga memiliki nilai i yang sedikit lebih besar daripada zat nonelektrolit. Jadi CH_3COOH memiliki kenaikan titik didih yang sedikit lebih besar daripada zat nonelektrolit pada konsentrasi yang sama.
b. $CaCl_2$ adalah zat elektrolit kuat dan dalam larutan akan lebih terion sempurna menjadi 1 ion Ca^{2+} dan 2 ion Cl^- dengan persamaan reaksi ionisasi $CaCl_2(aq) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$. Nilai i pada larutan $CaCl_2$ sama dengan jumlah ion (i = 3). Jadi $CaCl_2$ memiliki kenaikan titik didih yang lebih besar daripada zat elektrolit yang hanya memiliki nilai i = 2, zat elektrolit lemah, dan zat nonelektrolit pada konsentrasi yang sama.
c. $CO(NH_2)_2$ merupakan zat nonelektrolit dan memiliki nilai i sama dengan 1. Jadi, $CO(NH_2)_2$ memiliki kenaikan titik didih yang paling kecil dibandingkan zat elektrolit lemah pada konsentrasi yang sama.

Berdasarkan uraian di atas, maka urutan kenaikan titik didih (T_b) larutan sebagai berikut:

a. $CO(NH_2)_2$ (urea) 0,2 *m* (ΔT_b terendah)
b. CH_3COOH 0,2 *m*
c. $CaCl_2$ 0,2 *m* (ΔT_b tertinggi)

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja, keingintahuan, berpikir kritis,** mengembangkan **kecakapan sosial,** dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 1.3

Kenaikan Titik Didih Larutan

Tujuan:

1. Menentukan titik didih larutan elektrolit dan nonelektrolit.
2. Menyelidiki faktor-faktor yang mempengaruhi kenaikan titik didih larutan.

Alat:

1. Gelas kimia
2. Gelas ukur
3. Termometer
4. Lampu spiritus
5. Kaki tiga
6. Kawat kasa

Bahan:

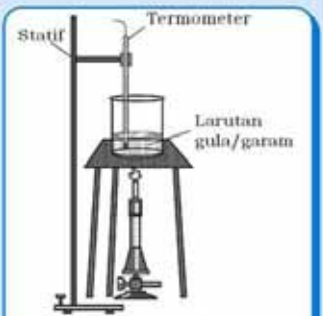
1. Air suling
2. Gula pasir
3. Garam dapur

Cara Kerja:

1. **Penentuan titik didih zat pelarut**
   a. Isi gelas kimia dengan 100 mL air suling.
   b. Panaskan air dalam gelas kimia menggunakan lampu spiritus.
   c. Catat suhu pada saat mulai mendidih sebagai titik didih pelarut (T_b°).
2. **Penentuan titik didih larutan**
   a. Isi gelas kimia dengan 100 mL air suling dan masukkan 2 sendok gula pasir ke dalam gelas kimia, aduk hingga semua gula larut.
   b. Panaskan larutan gula tersebut dengan lampu spiritus.
   c. Catat suhu pada saat larutan mulai mendidih sebagai titik didih larutan (T_b) gula.

d. Ganti larutan gula dengan garam dapur, selanjutnya lakukan kegiatan yang sama dengan di atas!

3. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.



Gambar 1.7 *Rangkaian alat percobaan kenaikan titik didih*

Hasil Pengamatan:

1. Titik didih zat pelarut/air (T_b^o) = . . . °C.
2. Titik beku larutan gula pasir dan garam dapur dicatat pada tabel di bawah ini!

Data Percobaan untuk Kenaikan Titik Didih Larutan

No.	Zat Terlarut	Titik Didih Larutan (T_b)	Kenaikan Titik Didih Larutan ($\Delta T_b = T_b - T_b^o$)
1.	Gula pasir/sukrosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	..... °C	..... °C
2.	Garam dapur (NaCl)	..... °C	..... °C

Pertanyaan:

1. Bandingkan titik didih zat pelarut (air suling) dengan titik didih larutan gula! Jelaskan mengapa hal tersebut dapat terjadi!
2. Apakah penambahan zat terlarut berpengaruh pada titik didih larutan? Bila ya, berikan bukti berdasarkan hasil percobaan yang kalian peroleh!
3. Bandingkan titik didih larutan gula dengan larutan garam! Mengapa hal tersebut dapat terjadi?
4. Tentukan konsentrasi gula (M_r = 342) yang terlarut, jika diketahui tetapan kenaikan titik didih molal air sebesar 0,52°C m^{-1}!
5. Apabila diketahui ionisasi garam dapur sebesar 1. Tentukan konsentrasi garam (M_r = 58,5)!
6. Bagaimana pengaruh penambahan zat terlarut dalam pelarut murni terhadap titik didih?
7. Bagaimana pengaruh jenis zat terlarut terhadap kenaikan titik didih larutan?

8. Diskusikan dengan teman teman kalian, manakah yang lebih tinggi titik didihnya air laut atau air sungai? Jelaskan jawaban kalian dengan memberikan alasan yang logis!
9. Perhatian larutan di bawah ini kemudian bandingkan manakah yang mempunyai titik didih lebih tinggi, jelaskan jawaban kalian!
   a. 3 liter air + 20 gram gula pasir dengan 3 liter air + 20 gram garam dapur.
   b. 5 liter air + garam dapur dengan 5 liter air + 20 gram asam fosfat.
   c. Air hujan dengan air laut.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 1.7

1. Tentukan titik beku dan titik didih larutan 0,15 mol larutan $Ba(NO_3)_2$ dalam 500 gram air! (K_b air = 0,52°C m^{-1}, K_f air = 1,86°C m^{-1})
2. Tentukan massa urea, $CO(NH_2)_2$, yang harus dilarutkan hingga volume larutan 250 mL sehingga isotonik dengan larutan NaCl 0,1 M!
3. Tekanan osmotik darah manusia pada suhu 37°C adalah 7,7 atm. Apabila seseorang memerlukan infus larutan NaCl, tentukan massa NaCl yang harus dilarutkan dalam 1 L larutan pada suhu 37°C sehingga isotonik dengan darah manusia!
4. Sebanyak 6,6 gram asam klorida, HCl, dilarutkan dalam 1800 gram air. Apabila titik beku larutan HCl memiliki titik beku 1,8 kali titik larutan nonelektrolit dengan konsentrasi molal yang sama, berapakah titik beku larutan HCl tersebut?
5. Apabila 11,7 gram NaCl dan 34,2 gram suatu zat nonelektrolit dilarutkan dalam 500 gram air dan diperoleh penurunan titik beku larutan 1,86°C. Apabila diketahui K_f air = 1,86°C m^{-1} dan faktor van't Hoff NaCl dianggap sama dengan 2. Tentukan massa molekul relatif (M_r) zat nonelektrolit tersebut!

Tokoh Kimia

Jacobus Henricus van't Hoff



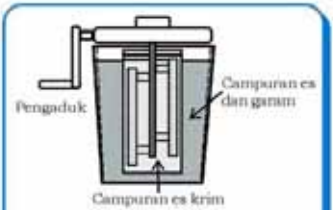
Jacobus Henricus van't Hoff (1852 – 1911) lahir di Rottendam, Belanda. Ia memperoleh gelar doktor pada tahun 1874, menjadi pengajar di Universitas Veterinary (1876), pada tahun 1878 menjadi Profesor Kimia, Mineralogi, dan Geologi di Universitas Amsterdam.

Semasa hidupnya ia telah banyak mengemukakan konsep tentang struktur senyawa organik (1871 – 1875), sedangkan pada tahun 1884 – 1885 ia juga mengemukakan konsep tentang termodinamika dalam kesetimbangan kimia. Pada tahun 1885 ia melakukan penelitian tentang osmosis dan menyatakan bahwa tekanan osmotik larutan sebanding dengan konsentrasi, suhu, dan koefisien *i* (koefisien van't Hoff). Melalui hasil penelitian ini, ia dapat membuktikan bahwa Hukum Termodinamika selain berlaku pada gas ideal juga berlaku bagi larutan ideal, ia melanjutkan penelitian tentang koefisien *i* berdasarkan teori elektrolit dan nonelektrolit Arrhenius. Ilmu kimia semakin berkembang dengan konsep-konsep hasil penelitian van't Hoff, oleh karena itu ia mendapatkan hadial Nobel pertama di bidang kimia pada tahun 1901.

D. Kegunaan Sifat Koligatif

Sifat koligatif memiliki banyak manfaat dalam kehidupan sehari-hari, lingkungan, dan industri. Penerapan beberapa sifat koligatif misalnya untuk mencairkan salju di musim dingin, menawarkan air laut, dan lain-lain.

Prinsip penurunan titik beku larutan dapat diaplikasikan dalam pembuatan es krim skala kecil. Pada peralatan untuk membuat es krim (Gambar 1.8), campuran bahan es krim berupa susu, telur, dan gula di tempatkan pada bagian dalam. Campuran es krim tersebut diaduk secara merata dan di bagian luar campuran es krim ditempatkan campuran pendingin berupa bongkahan es dan garam yang dapat menurunkan suhu larutan hingga –15°C.



Gambar 1.8 *Peralatan untuk membuat es krim skala kecil*

Garam-garam klorida banyak digunakan di negara yang bermusim dingin untuk mencairkan tumpukan salju di jalanan. Salju yang dicampur dengan garam, misalnya NaCl atau $CaCl_2$ akan membentuk larutan (garam dan salju). Penambahan zat terlarut,

yaitu garam akan menurunkan titik beku larutan, sehingga titik beku larutan yang terdiri dari salju dan garam lebih rendah daripada titik beku salju. Pada suhu saat salju membeku, larutan campuran salju dan garam tidak akan membeku karena memiliki titik beku yang lebih rendah daripada titik beku salju sebagai pelarut. Prinsip tersebut diaplikasikan di luar negeri untuk membersihkan jalanan dari tumpukan salju (Gambar 1.9).



Sumber: *CD Image*

Gambar 1.9 *NaCl dan $CaCl_2$ dapat mencairkan salju sehingga jalanan yang tertutup salju mudah dibersihkan*

Dalam dunia kedokteran, tekanan osmotik perlu diperhatikan dalam proses pemberian infus kepada pasien (Gambar 1.10). Tekanan osmotik dalam darah berkisar 7,7 atm pada suhu darah 38°C. Apabila seseorang memerlukan injeksi cairan nutrisi/infus, maka tekanan osmotik cairan infus tersebut harus disesuaikan dengan tekanan osmotik darah. Kedua larutan yang memiliki tekanan osmotik sama disebut *isotonik*.



Sumber: *CD Image*

Gambar 1.10 *Pemberian infus perlu memperhatikan tekanan osmosis larutan infus dengan tekanan darah pasien*

Apa yang akan terjadi apabila larutan yang berada di sekitar sel darah merah memiliki tekanan osmotik yang lebih tinggi? Air yang terdapat dalam sel darah merah akan keluar, sehingga sel akan mengerut. Larutan yang memiliki tekanan osmotik yang lebih tinggi disebut *hipertonik*.

Bagaimana bila larutan yang berada di sekitar sel darah merah memiliki tekanan osmotik yang lebih rendah? Sel darah merah akan menyerap air, sehingga dinding sel akan mengembang dan pecah. Larutan yang memiliki tekanan osmotik lebih rendah disebut *hipotonik*.

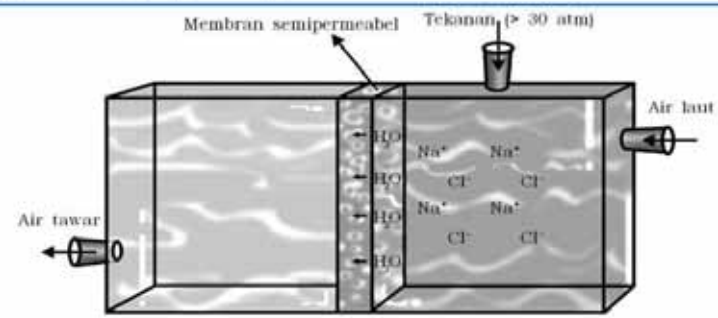
Diare dapat disebabkan penderita tidak tahan terhadap laktosa yang terdapat dalam susu (*Lactose intolerance*). Laktosa adalah golongan zat gula disakarida (terdiri atas dua molekul gula sederhana atau monosakarida). Keadaan ini disebabkan oleh tidak adanya atau kurangnya enzim laktase (β – *galaktosidase*) dalam sistem pencernaan.

Bila enzim laktase dalam usus terlalu sedikit atau malah tidak ada, hanya sebagian dari gula susu saja yang bisa diuraikan dan diserap oleh dinding usus. Sementara sebagian gula susu lainnya akan menuju usus besar tanpa terurai. Di sana, gula susu tersebut diubah oleh bakteri usus dalam proses fermentasi tanpa udara (*anaerob*) menjadi asam-asam organik dan terbentuklah gas-gas karbon dioksida, metana, dan hidrogen. Proses ini menyebabkan naiknya tekanan osmotik, sehingga zat-zat pelarut di luar usus akan masuk ke dalam lumen usus melalui mukosa usus sebagai membran semipermeabel dan terjadi penimbunan cairan pada usus. Hal ini mengakibatkan penderita sakit perut dan mengalami diare.

Penderita diare harus mengonsumsi larutan elektrolit yang banyak dan sesuai dengan kebutuhan, misalnya oralit, larutan garam, gula, atau air kelapa. Selain larutan elektrolit, pada penderita diare akut dianjurkan makan telur asin/ikan asin sebagai pengganti elektrolit yang hilang saat diare.

Proses membuang garam yang terlarut dalam air, misalnya air laut disebut dengan *desalinasi* air laut. Dasar desalinasi air laut adalah memproses partikel zat pelarut agar bergerak dari konsentrasi tinggi (air laut) menuju ke pelarut murni melewati membran semipermeabel. Bagaimana caranya? Memperbesar tekanan osmotik suatu larutan menyebabkan kecepatan partikel zat pelarut bergerak dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah lebih besar daripada arah sebaliknya, peristiwa ini disebut *osmosis terbalik* (*reverse osmosis*).

Osmosis terbalik dapat diterapkan dalam proses desalinasi air laut. Dengan memberikan tekanan yang osmosis air laut (30 atm), maka partikel zat pelarut akan bergerak dari air laut ke pelarut murni (Gambar 1.11). Garam sebagai zat terlarut akan tetap berada pada bak yang berisi air laut. Hasil dari desalinasi air laut adalah air tawar yang dapat digunakan untuk keperluan industri, rumah tangga, dan pertanian. Membran semipermeabel yang digunakan dalam proses desalinasi umumnya dari selulosa asetat aromatik dengan serat yang berongga.



Gambar 1.11 *Penerapan prinsip osmosis terbalik dalam proses mengubah air laut menjadi air tawar (desalinasi air laut)*

Serba-serbi Kimia

Sifat koligatif larutan juga dapat digunakan pada industri kecil minyak kelapa. Industri minyak kelapa sulit berkembang karena produk yang dihasilkan kualitasnya rendah, antara lain cepat tengik, titik didihnya rendah, dan titik bekunya tinggi. Padahal konsumen memerlukan produk minyak yang awet, mempunyai titik didih yang tinggi serta titik bekunya relatif rendah sehingga di pagi hari tidak membeku. Untuk mengatasi itu dilakukan dengan menambahkan zat-zat/mineral yang bermanfaat, misalnya garam-garaman dan vitamin E. Sesuai dengan prinsip penurunan titik beku dan kenaikan titik didih, maka minyak yang ditambahkan zat terlarut akan mengalami penurunan titik beku dan kenaikan titik didih. Vitamin E selain dapat menurunkan titik beku juga digunakan sebagai bahan pengawet, sehingga umur minyak kelapa bisa lebih dari satu tahun. Dengan tahannya minyak kelapa, maka industri dapat meningkatkan produknya dan memperoleh keuntungan yang lebih besar. Coba kembangkan semangat kewirausahaan kalian!

Rangkuman

1. Kemolalan (m) menyatakan jumlah mol zat terlarut dalam 1 kg pelarut.
2. Fraksi mol (X) dibedakan menjadi fraksi mol zat terlarut (X_t) dan fraksi mol zat pelarut (X_p).
   a. X_p menyatakan perbandingan jumlah mol zat pelarut dengan jumlah mol total larutan.
   b. X_t menyatakan perbandingan jumlah mol zat terlarut dengan jumlah mol total larutan.
3. Sifat koligatif merupakan sifat larutan yang tergantung pada jumlah partikel zat terlarut dan tidak tergantung pada sifat partikel tersebut.
4. Sifat koligatif meliputi penurunan tekanan uap, penurunan titik beku, kenaikan titik didih, dan tekanan osmotik.
5. Sifat koligatif larutan nonelektrolit berbeda dengan larutan elektrolit, di mana sifat koligatif larutan elektrolit dipengaruhi faktor van't Hoff (i).
6. Sifat koligatif berguna untuk mencairkan salju di musim dingin, menawarkan air laut, pembuatan es krim skala kecil, dan lain-lain.

Uji Kompetensi

Kerjakan di buku tugas kalian!

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

1. Larutan 1 molal NaOH (M_r = 40) dapat dibuat dari 40 g NaOH dan . . . .
   A. 60 g air
   B. 1 L air
   C. air hingga volume larutan menjadi 1 L
   D. 1000 g air
   E. 960 mL air

2. Fraksi mol suatu larutan metanol, CH_3OH, dalam air adalah 0,5. Konsentrasi metanol dalam larutan ini dinyatakan dalam persen berat metanol adalah . . . .
(Diketahui A_r H = 1, C = 12, O = 16)
A. 16%
B. 18%
C. 36%
D. 64%
E. 82%

3. Penurunan tekanan uap larutan berbanding lurus dengan . . . .
A. fraksi mol zat pelarut
B. mol zat pelarut
C. fraksi mol zat terlarut
D. tekanan uap zat pelarut
E. tekanan uap zat terlarut

4. Penurunan titik beku molal ialah penurunan titik beku yang dihasilkan oleh satu mol zat nonelektrolit dalam . . . .
A. 1 liter pelarut
B. 100 gram pelarut
C. 1 liter larutan
D. 1000 gram pelarut
E. 1000 gram larutan

5. Zat nonelektrolit *A* (M_r = 40) sebanyak 30 gram dilarutkan dalam 900 gram air memiliki penurunan titik beku larutan sebesar 1,55°C. Massa zat *A* yang harus dilarutkan dalam 1,2 kg air sehingga diperoleh penurunan titik beku setengah dari penurunan titik beku larutan di atas adalah . . . .
A. 2 gram
B. 16,2 gram
C. 20 gram
D. 40 gram
E. 200 gram

6. Diketahui larutan KOH, $CO(NH_2)_2$ (urea), $MgCl_2$, dan NaBr, masing-masing mempunyai konsentrasi 1 *m*. Larutan yang mempunyai titik beku yang sama adalah . . . .
A. KOH dan $MgCl_2$
B. KOH dan urea
C. KOH dan NaBr
D. $MgCl_2$ dan urea
E. $MgCl_2$ dan NaBr

7. Larutan 0,05 mol garam *AB* dalam 100 gram air membeku pada suhu –1,55°C. Apabila diketahui tetapan penurunan titik beku molal air adalah 1,86°C m^{-1}, maka derajat disosiasi garam *AB* dalam larutan tersebut adalah . . . .
A. $\frac{2}{9}$
B. $\frac{1}{3}$
C. $\frac{2}{3}$
D. $\frac{3}{5}$
E. $\frac{2}{5}$

8. Apabila kalian ingin menaikkan titik didih 250 mL air menjadi 100,1°C pada tekanan 1 atm, maka jumlah gula yang harus dilarutkan . . . .
(Diketahui M_r gula=342 dan K_b air=0,52°C m^{-1})
A. 16,4 gram
B. 26,1 gram
C. 164,4 gram
D. 263,1 gram
E. 444,6 gram

9. Larutan glukosa dalam air pada suhu 27°C adalah isotonik dengan larutan 6,84 gram gula tebu (M_r=342) dalam 200 mL air pada suhu 57°C. Maka konsentrasi larutan glukosa adalah . . . .
A. 1,1 mol L^{-1}
B. 0,11 mol L^{-1}
C. 11,0 mol L^{-1}
D. 0,2 mol L^{-1}
E. 0,02 mol L^{-1}

10. Larutan *A* diperoleh dengan cara melarutkan 4 g natrium hidroksida, NaOH (M_r = 40) dalam 1 L air. Larutan *B* diperoleh dengan cara melarutkan 18 gram glukosa, $C_6H_{12}O_6$, (M_r = 180) dalam 1 L air. Pada suhu yang sama tekanan osmotik larutan *B* adalah . . . tekanan osmotik larutan *A*.
A. seperempat kali
B. setengah kali
C. sama seperti
D. dua kali
E. empat kali

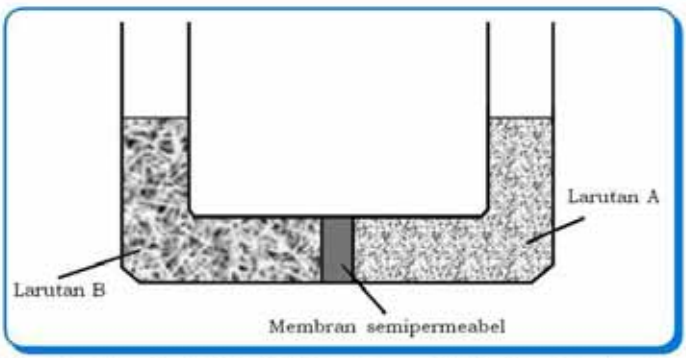
B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Suatu larutan dibuat dengan cara mengencerkan 3,30 mL aseton, CH_3COCH_3 (ρ = 0,789 g mL^{-1}) dengan air hingga mencapai volume 75 mL. Apabila massa jenis larutan tersebut adalah 0,993 g mL^{-1}. Tentukan kemolalan larutan tersebut!

2. Berapa liter *antifreeze* (etilena glikol), $[CH_2(OH)CH_2(OH)]$, yang harus ditambahkan pada radiator mobil yang berisi 6,5 L air, apabila suhu terendah pada musim dingin di daerah kalian sekitar –20°C?
(Diketahui massa jenis etilena glikol 1,11 g mL^{-1} dan massa jenis air 1 g mL^{-1})

3. Larutan *A* dan *B* masing-masing memiliki tekanan osmotik sebesar 2,4 atm dan 4,6 atm pada suhu larutan yang sama. Berapa tekanan osmotik yang dibutuhkan pada suhu yang sama agar volume *A* dan *B* menjadi sama?

4. Perhatikan ilustrasi di bawah ini!



Jika larutan A adalah 0,5 M sukrosa, $C_{12}H_{22}O_{11}$ dan larutan B terdiri atas 5,15 g urea, $CO(NH_2)_2$ dalam 75 mL air. Kemana arah aliran air melalui membran semipermeabel, ke arah kiri atau kanan? Jelaskan!

5. Bahaya kelaparan mengakibatkan kekurangan protein, sehingga akan terjadi kerusakan pada ginjal dan dinding kapiler yang sifatnya semipermeabel. Hal tersebut menyebabkan jaringan tubuh membengkak yang biasa disebut dengan *busung*. Apabila dihubungkan dengan osmosis, mengapa peristiwa tersebut bisa terjadi?

Bab II

Reaksi Redoks dan Elektrokimia

Tujuan Pembelajaran:

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menerapkan konsep reaksi oksidasi-reduksi dan elektrokimia dalam teknologi dan kehidupan sehari-hari serta menjelaskan reaksi oksidasi-reduksi dalam sel elektrolisis dan menerapkan hukum Faraday untuk elektrolisis larutan elektrolit.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Redoks
2. Sel Volta
3. Sel elektrolisis
4. Hukum Faraday
5. Korosi



Sumber: *CD Image*

Gambar 2.1 *Perkaratan logam merupakan reaksi redoks*

Salah satu jenis reaksi kimia adalah reaksi reduksi-oksidasi (redoks). Reaksi redoks yang membebaskan energi yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Dari mana energi yang diperoleh tubuh kita? Energi yang diperoleh berasal dari reaksi redoks pada karbohidrat. Melalui reaksi redoks, karbohidrat dioksidasi menjadi karbon dioksida dan uap air dengan melepaskan sejumlah energi yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai aktivitas.

Kegiatan industri dan kehidupan sehari-hari lainnya banyak melibatkan reaksi redoks, misalnya pada proses pemurnian logam dari mineralnya, penggunaan aki atau baterai sebagai sumber energi, proses pembakaran bahan bakar, seperti bensin atau solar untuk transportasi dan pembakaran batu bara pada proses industri.

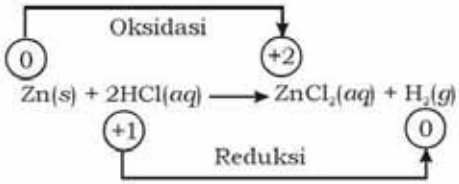
Reaksi redoks juga dapat menimbulkan kerugian, misalnya pada peristiwa korosi yang terjadi pada beberapa jenis logam, sehingga logam menjadi berkarat (Gambar 2.1). Korosi dapat merapuhkan dan merusak barang-barang atau bangunan yang terbuat dari besi.

A. Reaksi Reduksi-Oksidasi (Redoks)

Pengertian reaksi reduksi dan oksidasi mengalami beberapa perkembangan. Pengertian reaksi redoks telah kalian pelajari di kelas X. Berikut kalian akan mempelajari tentang zat pengoksidasi dan zat pereduksi.

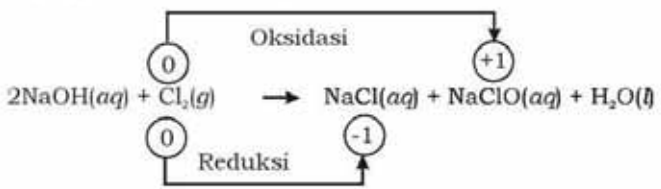
1. Zat Pengoksidasi dan Zat Pereduksi

Perhatikan reaksi redoks berikut ini!



Logam seng mengalami oksidasi membentuk seng klorida dan asam klorida mengalami reduksi membentuk gas hidrogen. Pada reaksi redoks tersebut, logam seng mengalami peristiwa oksidasi dan menyebabkan asam klorida tereduksi, sehingga logam seng disebut zat pereduksi atau **reduktor**. Sebaliknya, asam klorida mengalami reaksi reduksi yang menyebabkan logam seng teroksidasi, sehingga asam klorida disebut zat pengoksidasi atau **oksidator**.

Suatu zat juga dapat mengalami reaksi oksidasi dan reduksi secara bersamaan dalam reaksi *autoredoks* atau reaksi *disproporsionasi*, misalnya:



Pada reaksi di atas atom klorida mengalami perubahan bilangan oksidasi dari 0 (dalam klorin) menjadi –1 (dalam NaCl) dan +1 (dalam NaClO), klorin mengalami peristiwa oksidasi dan reduksi (autoredoks).

a. *Beberapa Zat Pengoksidasi*

1) Oksigen merupakan zat pengoksidasi (oksidator) yang paling umum. Penggunaan oksigen sebagai oksidator misalnya dalam pembakaran bahan bakar pada solar atau bensin pada kendaraan bermotor, oksigen murni digunakan pada alat bantu pernapasan di rumah sakit, oksigen juga diperlukan dalam oksidasi makanan untuk menghasilkan energi dalam tubuh.

2) Zat pengoksidasi yang sering digunakan dalam laboratorium adalah kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$). Zat ini berwarna kuning, tetapi apabila tereduksi menjadi Cr^{3+} akan berubah warnanya menjadi hijau. Alkohol adalah zat yang dapat dioksidasi oleh $K_2Cr_2O_7$. Salah satu aplikasinya adalah untuk menguji tingkat alkohol pada pecandu alkohol (alkoholik).
3) Beberapa antiseptik menggunakan zat pengoksidasi, misalnya larutan 3% hidrogen peroksida digunakan untuk pengobatan kecelakaan kecil dan antiseptik lainnya seperti "obat merah" yang menggunakan larutan iodin (I_2) sebagai oksidator.
4) Pewarna rambut umumnya menggunakan 6% atau 12% larutan hidrogen peroksida sebagai oksidator pada pigmen hitam rambut (melanin), sehingga rambut menjadi berwarna sesuai dengan produk pewarna rambut tersebut.

b. *Beberapa Zat Pereduksi*

Aplikasi beberapa zat pereduksi adalah dalam pengolahan mineral untuk memperoleh logam murni, misalnya:

1) Timah murni dapat diperoleh dengan mereduksi timah oksida dengan karbon yang diperoleh dari pembakaran batu bara.
   $SnO_2(s) + C(s) \rightarrow Sn(s) + CO_2(g)$
2) Logam kromium dapat diperoleh dari mineralnya melalui cara pemanasan dengan logam aktif, yaitu aluminium.
   $Cr_2O_3(s) + 2Al(s) \rightarrow Al_2O_3(s) + 2Cr(s)$
3) Gas hidrogen diperlukan dalam industri amonia. Hidrogen digunakan sebagai zat pereduksi nitrogen dan membentuk amonia.
   $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 2.1

1. Minyak sayur bereaksi dengan hidrogen membentuk lemak, menurut persamaan reaksi:
   $C_{57}H_{104}O_6(l) + 3H_2(g) \rightarrow C_{57}H_{110}O_6(l)$
   Pada reaksi ini minyak sayur mengalami reaksi oksidasi atau reduksi?

2. Pada proses fotosintesis terjadi reaksi:
$6CO_2(g) + 6H_2O(l) + \text{energi} \rightarrow C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g)$
Tentukan:
   a. zat yang dioksidasi,
   b. zat pengoksidasi
   c. zat yang direduksi, dan
   d. zat pereduksi!
3. Berilah tanda lingkaran untuk reduktor dan garis bawah untuk oksidator pada reaksi redoks di bawah ini!
   a. $2KBr(s) + Cl_2(g) \rightarrow 2KCl(aq) + Br_2(l)$
   b. $Fe(s) + 2HCl(aq) \rightarrow FeCl_2(aq) + H_2(g)$
   c. $Cu^{2+}(aq) + Zn(s) \rightarrow Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$
   d. $2CrO_3(aq) + 6HI(aq) \rightarrow Cr_2O_3(aq) + 3I_2(s)$

2. Penyetaraan Reaksi Redoks

Penyetaraan persamaan reaksi redoks merupakan masalah yang cukup rumit dan memerlukan cara yang sistematis dalam penyelesaiannya. Hal ini dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu cara setengah reaksi dan cara perubahan bilangan oksidasi.

a. *Cara Setengah Reaksi (Cara Ion Elektron)*

Pada dasarnya reaksi redoks adalah kelompok reaksi yang berdasarkan pada serah terima elektron. Reaksi redoks terdiri atas reaksi reduksi dan oksidasi. Reduksi merupakan reaksi penerimaan elektron dan oksidasi merupakan reaksi pelepasan elektron. Masing-masing reaksi disebut sebagai "setengah reaksi". Jadi, dalam suatu reaksi redoks terdiri atas dua "setengah reaksi". Untuk lebih jelasnya perhatikan langkah-langkah penyetaraan reaksi berikut ini:

$$Na_2Cr_2O_7(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + CrCl_3(aq) + H_2O(l) + Cl_2(g)$$

Langkah 1

Menuliskan reaksi dalam bentuk ion dan menentukan bilangan oksidasi masing-masing unsur.

$$\begin{array}{ccccccccccc} +1 & (+6)_2(-2)_7 & +1 & -1 & +1 & -1 & +3 & -1 & (+1)_2 & -2 & 0 \\ 2Na^+ & + Cr_2O_7^{2-} & + H^+ & + Cl^- & \rightarrow & Na^+ & + Cl^- & + Cr^{3+} & + 3Cl^- & + H_2O & + Cl_2 \end{array}$$

Reaksi tersebut berlangsung pada suasana asam karena melibatkan asam klorida, HCl yang bersifat asam.

Langkah 2

Menentukan unsur-unsur yang mengalami reaksi reduksi dan oksidasi.

$$Cr_2O_7^{2-} + Cl^- \rightarrow Cr^{3+} + Cl_2$$

Langkah 3

Menuliskan persamaan setengah reaksi.

Oksidasi: $\overset{-1}{Cl^-} \rightarrow \overset{0}{Cl_2}$

Reduksi: $\overset{+6}{Cr_2O_7^{2-}} \rightarrow \overset{+3}{Cr^{3+}}$

Langkah 4

Menyetarakan unsur-unsur yang mengalami reaksi redoks.

$\mathbf{2}Cl^- \rightarrow Cl_2$

$Cr_2O_7^{2-} \rightarrow \mathbf{2}Cr^{3+}$

Langkah 5

Menyetarakan atom O pada cara setengah reaksi perlu memperhatikan suasana reaksi (asam atau basa), dengan ketentuan:

a) Suasana asam: menambahkan H_2O pada ruas yang kekurangan atom O sejumlah kekurangannya.

b) Suasana basa: menambahkan H_2O pada ruas yang kekurangan atom O sejumlah kelebihannya.

Reaksi di atas berlangsung pada suasana asam, sehingga ditambahkan H_2O pada ruas yang kekurangan atom O.

$Cr_2O_7^{2-} \rightarrow 2Cr^{3+} + \mathbf{7H_2O}$

Langkah 6

Menyetarakan atom H pada cara setengah reaksi juga perlu memperhatikan suasana reaksi (asam atau basa).

a) Suasana asam: menambahkan ion H^+ pada ruas yang kekurangan atom H sejumlah kekurangannya.

b) Suasana basa: menambahkan ion OH^- pada ruas yang kekurangan atom H sejumlah kekurangannya.

$\mathbf{14H^+} + Cr_2O_7^{2-} \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

Langkah 7

Menyetarakan muatan pada kedua "setengah reaksi" dengan menambahkan elektron.

$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

$14H^+ + Cr_2O_7^{2-} + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

Langkah 8

Menyetarakan jumlah elektron kedua persamaan "setengah reaksi" kemudian menjumlahkan keduanya.

$\{2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-\} \quad \times 3$

$14H^+ + Cr_2O_7^{2-} + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

$+$

$14H^+ + Cr_2O_7^{2-} + 6Cl^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O + 3Cl_2 \quad \ldots\ (i)$

Langkah 9

Apabila ada ion-ion yang tidak terlibat dalam persamaan reaksi redoks (i), maka langkah selanjutnya adalah menuliskan ion-ion yang tidak terlibat dalam reaksi redoks, kemudian menjumlah-kannya dan menggabungkan ion-ion tersebut menjadi molekul dari mana ion-ion tersebut berasal.

$14H^+ + Cr_2O_7^{2-} + 6Cl^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O + 3Cl_2 \quad \ldots\ (ii)$

$2Na^+ + 8Cl^- \rightarrow 2Na^+ + 2Cl^- + 6Cl^- \quad \ldots\ (iii)$

$Na_2Cr_2O_7(aq) + 14HCl(aq) \rightarrow 2NaCl(aq) + 2CrCl_3(aq) + 7H_2O(l) + 3Cl_2(g)$

Jadi, persamaan redoksnya:

$Na_2Cr_2O_7 + 14HCl \rightarrow 2NaCl + 2CrCl_3 + 7H_2O + 3Cl_2$

Contoh soal 2.1:

Setarakan reaksi berikut ini:

$MnO_4^- + I^- \xrightarrow{(OH^-)} MnO_2 + I_2$

Penyelesaian:

Adanya ion hidroksida, OH^- menunjukkan bahwa reaksi berlangsung pada suasana basa.

Langkah 1

Reaksi tersebut adalah reaksi dalam bentuk ion.

Langkah 2

Reaksi tersebut terdiri atas unsur-unsur yang mengalami reaksi redoks.

Langkah 3

Menentukan "setengah reaksi" yang terjadi pada reaksi tersebut.

$\overset{-1}{I^-} \rightarrow \overset{0}{I_2}$ Oksidasi

$\overset{+7}{MnO_4^-} \rightarrow \overset{+4}{MnO_2}$ Reduksi

Langkah 4

Menyetarakan unsur-unsur yang mengalami reaksi redoks.

$2I^- \rightarrow I_2$

$MnO_4^- \rightarrow MnO_2$ (unsur Mn sudah setara)

Langkah 5

Karena reaksi berlangsung pada suasana basa, maka penambahan H_2O dilakukan pada unsur yang kelebihan atom O sejumlah kelebihannya.

Langkah 6

Karena reaksi berlangsung pada suasana basa, maka ruas yang kekurangan atom H disetarakan dengan menambahkan ion OH^- sejumlah kekurangannya.

$MnO_4^- + 2H_2O \rightarrow MnO_2 + \mathbf{4OH^-}$

Langkah 7

Menyetarakan jumlah muatan pada tiap "setengah reaksi" dengan menambahkan elektron.

$2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$

$MnO_4^- + 2H_2O + 3e^- \rightarrow MnO_2 + \mathbf{4OH^-}$

Langkah 8

Menjumlahkan kedua persamaan "setengah reaksi".

$\{2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-\} \times 3$

$\{MnO_4^- + 2H_2O + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 4OH^-\} \times 2$

$2MnO_4^- + 4H_2O + 6I^- \rightarrow 2MnO_2 + 8OH^- + 3I_2$ +

Jadi, persamaan reaksi redoksnya:

$2MnO_4^- + 4H_2O + 6I^- \rightarrow 2MnO_2 + 8OH^- + 3I_2$

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 2.2

Setarakan reaksi berikut dengan cara setengah reaksi!

1. $H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + H_2O$ (suasana asam)
2. $Cu + HNO_3 \rightarrow Cu^{2+} + NO + H_2O$ (suasana asam)
3. $Mn^{2+} + H_2O_2 \rightarrow MnO_2 + H_2O$ (suasana basa)

b. *Cara Bilangan Oksidasi*

Penyetaraan suatu reaksi redoks dapat dilakukan dengan cara bilangan oksidasi. Pada cara ini yang harus diperhatikan adalah perubahan bilangan oksidasi masing-masing unsur dalam suatu reaksi. Untuk memperjelas langkah-langkah penyetaraan reaksi redoks dengan cara bilangan oksidasi, perhatikan contoh soal berikut!

Contoh soal 2.2:

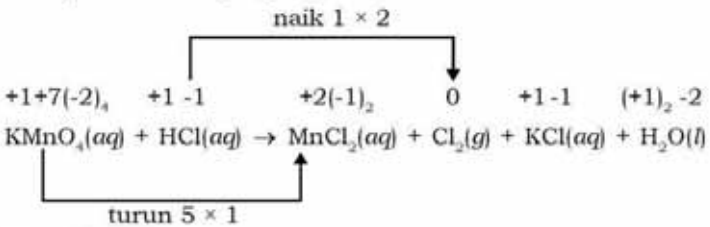
Setarakan persamaan reaksi:

$KMnO_4(aq) + HCl(aq) \rightarrow MnCl_2(aq) + Cl_2(g) + KCl(aq) + H_2O(l)$

Penyelesaian:

Langkah 1

Menentukan bilangan oksidasi masing-masing unsur dan perubahan bilangan oksidasi yang terjadi.



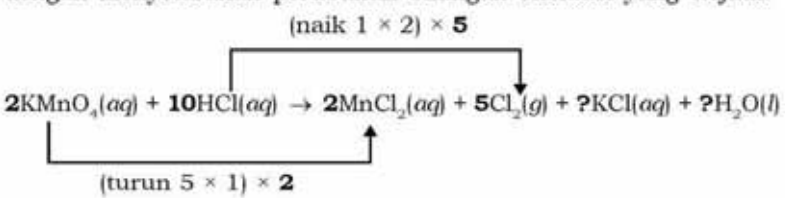
Langkah 2

Menyetarakan unsur-unsur yang mengalami perubahan bilangan oksidasi.

$KMnO_4(aq) + \mathbf{2}HCl(aq) \rightarrow MnCl_2(aq) + Cl_2(g) + KCl(aq) + H_2O(l)$

Langkah 3

Menentukan koefisien pada senyawa yang mengalami reaksi redoks dengan menyetarakan perubahan bilangan oksidasi yang terjadi.



Langkah 4

a) Menyetarakan unsur-unsur yang terlibat dalam persamaan reaksi dengan memperhatikan koefisien pada molekul senyawa dengan unsur yang mengalami kenaikan/penurunan bilangan oksidasi yaitu koefisien pada $KMnO_4$ dan $MnCl_2$.

b) Anion Cl^- mengalami penurunan bilangan oksidasi dari –1 dalam HCl menjadi 0 dalam Cl_2. Selain itu, anion Cl^- tidak mengalami perubahan bilangan oksidasi dalam KCl, sehingga koefisien pada HCl dapat diubah-ubah untuk menyetarakan persamaan reaksi.

c) Cara menyetarakan unsur-unsur yang lain memperhatikan urutan *kation, anion, hidrogen, dan oksigen* (KAHO).

$$\mathbf{2}KMnO_4(aq) + \mathbf{?}HCl(aq) \rightarrow \mathbf{2}MnCl_2(aq) + 5Cl_2(g) + \mathbf{?}KCl(aq) + \mathbf{?}H_2O(l)$$

Langkah 5

a) Kation K^+ pada ruas kiri berjumlah 2 mol (dalam $KMnO_4$), sehingga diperoleh koefisien pada KCl adalah 2.

$$\mathbf{2}KMnO_4(aq) + \mathbf{?}HCl(aq) \rightarrow \mathbf{2}MnCl_2(aq) + \mathbf{5}Cl_2(g) + \mathbf{5}Cl_2(g) + \mathbf{2}KCl(aq) + \mathbf{?}H_2O(l)$$

b) Anion Cl^- pada ruas kanan berjumlah 16 mol, sehingga diperoleh koefisien pada HCl adalah 16.

$$\mathbf{2}KMnO_4(aq) + \mathbf{16}HCl(aq) \rightarrow \mathbf{2}MnCl_2(aq) + \mathbf{5}Cl_2(g) + \mathbf{2}KCl(aq) + \mathbf{?}H_2O(l)$$

c) Ion H^+ pada ruas kanan berjumlah 16 mol (dalam HCl), sehingga koefisien pada H_2O adalah setengah jumlah ion hidrogen sebesar 8 mol.

$$\mathbf{2}KMnO_4(aq) + \mathbf{16}HCl(aq) \rightarrow \mathbf{2}MnCl_2(aq) + \mathbf{5}Cl_2(g) + \mathbf{2}KCl(aq) + \mathbf{8}H_2O(l)$$

Persamaan reaksi redoks lengkap adalah:

$$\mathbf{2KMnO_4(aq) + 16HCl(aq) \rightarrow 2MnCl_2(aq) + 5Cl_2(g) + 2KCl(aq) + 8H_2O(l)}$$

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 2.3

Setarakan reaksi berikut dengan cara bilangan oksidasi!

1. $HCl(aq) + Zn(s) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$
2. $CH_4(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O(l) + CO_2(g)$
3. $Cu(s) + HNO_3(aq) \rightarrow NO(g) + Cu(NO_3)_2(aq) + H_2O(l)$
4. $NH_3(g) + O_2(g) \rightarrow NO(g) + H_2O(l)$

3. Reaksi Redoks Spontan

Reaksi redoks menurut pandangan modern merupakan reaksi yang melibatkan serah terima elektron, sehingga menyebabkan perubahan bilangan oksidasi. Berdasarkan proses terjadinya reaksi, maka reaksi redoks dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

a. Reaksi redoks yang tidak memerlukan energi dari luar (reaksi spontan). Reaksi korosi pada besi dan reaksi yang terjadi pada saat kita menggunakan baterai atau *accumulator* (aki) merupakan contoh reaksi redoks yang berlangsung spontan.
b. Reaksi redoks yang hanya dapat terjadi apabila memperoleh energi dari luar, misalnya energi listrik (reaksi tidak spontan). Reaksi redoks tidak spontan banyak dijumpai dalam industri logam, misalnya pada proses penyepuhan logam, pemurnian logam dari mineralnya. Reaksi redoks dalam kehidupan sehari-hari, misalnya reaksi pada saat pengisian aki.

Suatu reaksi redoks yang berlangsung spontan memiliki ciri-ciri sama dengan reaksi kimia yang berlangsung spontan. Reaksi kimia berlangsung spontan apabila memiliki ciri-ciri terjadi endapan, timbul gas (gelembung-gelembung udara), perubahan warna, atau perubahan suhu.

B. Sel Elektrokimia

Dalam reaksi redoks terjadi peristiwa serah terima elektron yang menyebabkan perubahan bilangan oksidasi beberapa unsur. Peristiwa serah terima elektron dalam reaksi redoks tersebut menimbulkan arus listrik. Perubahan kimia yang menimbulkan arus listrik atau sebaliknya disebut **reaksi elektrokimia**. Reaksi elektrokimia terjadi pada sel elektrokimia. Berdasarkan reaksinya sel elektrokimia dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Sel Volta, yaitu sel reaksi redoks yang berlangsung secara spontan. Misalnya baterai dan aki. Baterai digunakan sebagai sumber listrik dalam kehidupan sehari-hari misalnya pada radio, kalkulator, telepon genggam, dan lain-lain. (Gambar 2.2). Aki digunakan sebagai sumber energi listrik pada kendaraan bermotor. Katode pada sel Volta merupakan kutub positif dan anode merupakan kutub negatif.
2. Sel elektrolisis, yaitu sel reaksi redoks yang memerlukan energi listrik agar terjadi reaksi kimia. Sel elektrolisis banyak terlibat dalam industri logam, misalnya pada proses penyepuhan logam, pemurnian logam murni dari mineralnya. Sel elektrolisis dapat pula dijumpai pada pengisian aki, saat energi listrik digunakan untuk menghasilkan suatu reaksi kimia dalam aki. Katode merupakan kutub negatif dan anode merupakan kutub positif.



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 2.2 *Sumber energi pada barang-barang elektronika sebagian besar menggunakan prinsip sel Volta*

1. Sel Volta atau Sel Galvani

Alessandro Volta (1745 – 1927), seorang fisikawan Italia berhasil menemukan suatu reaksi kimia yang dapat menghasilkan energi listrik. Penemuan Volta berasal dari studi lanjut tentang penemuan **"listrik binatang"** oleh seorang ahli anatomi Italia, **Luigi Galvani** (1773 – 1798). Arus listrik tersebut diperoleh oleh Galvani saat melakukan proses pembedahan pada seekor katak. Pada saat Galvani menusukkan logam tembaga dan besi untuk membedah paha kodok, ia merasakan getaran singkat semacam arus listrik. Galvani menganggap bahwa arus singkat yang dirasakannya berasal dari tubuh binatang. Pernyataan Galvani tersebut tidak bertahan lama. Setelah berdasarkan beberapa percobaan yang dilakukan oleh Volta disimpulkan bahwa arus listrik yang terjadi disebabkan oleh dua logam yang berbeda dalam menggunakan larutan garam atau asam lemah yang ternyata juga menghasilkan arus listrik.

Volta berhasil merancang alat berupa tumpukan dari lempengan logam seng dan perak yang dipisahkan oleh kain basah dari larutan garam atau asam lemah yang menghasilkan arus listrik. Rangkaian alat yang dapat menghasilkan arus listrik dari reaksi kimia rancangan Volta disebut **sel Volta**. Reaksi kimia yang terjadi dalam sel Volta adalah reaksi yang berlangsung spontan. Bentuk perkembangan dari sel Volta adalah baterai (Gambar 2.3) dan aki.



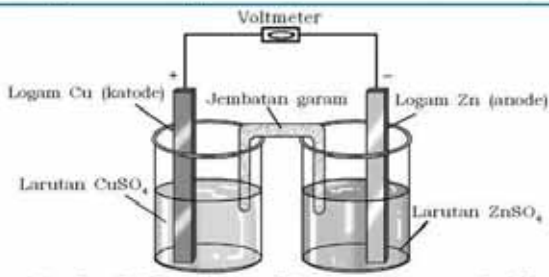
Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 2.3 *Baterai salah satu bentuk sel Volta*

Pada sel Volta terdapat dua elektrode yaitu katode sebagai kutub positif dan anode sebagai kutub negatif. Pada katode terjadi reaksi reduksi yaitu peristiwa penerimaan elektron, sebaliknya pada anode terjadi reaksi oksidasi yaitu peristiwa pelepasan elektron.

a. Reaksi dalam Sel Volta

Pada reaksi tersebut terjadi serah terima elektron, logam seng (Zn) melepaskan elektron dan membentuk ion Zn^{2+}. Ion Cu^{2+} dalam larutan $CuSO_4$ menerima elektron dan membentuk endapan Cu. Peristiwa ini berjalan terus-menerus hingga semua ion Cu^{2+} mengendap sebagai logam Cu, sehingga larutan $CuSO_4$ semakin berkurang konsentrasinya. Sebaliknya, endapan Cu pada katode semakin bertambah massanya. Dalam reaksi tersebut tidak terjadi arus listrik, karena elektron berpindah secara langsung dari logam Zn ke larutan $CuSO_4$. Reaksi redoks spontan akan menghasilkan arus listrik apabila dirangkaikan pada suatu sel Volta (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 *Rangkaian sel Volta yang dapat menghasilkan arus listrik melalui reaksi redoks spontan*

Dalam rangkaian sel Volta tersebut logam tembaga (Cu) berfungsi sebagai katode (kutub positif), tempat penerimaan elektron dan logam seng (Zn) berfungsi sebagai anode (kutub negatif), tempat pelepasan elektron. Proses yang berlangsung pada sel Volta adalah sebagai berikut:

1) Logam Zn dalam larutan $ZnSO_4$ akan larut sebagai ion Zn^{2+}. Setiap mol Zn^{2+} akan melepaskan 2 mol elektron, menurut persamaan "setengah reaksi" yaitu:

$$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$$

Elektron yang dilepaskan oleh Zn akan mengalir melalui kawat penghantar menuju ke logam Cu.

2) Larutan $CuSO_4$ terdiri atas ion Cu^{2+} dan SO_4^{2-} dengan jumlah yang seimbang. Ion Cu^{2+} akan menerima elektron dari logam Cu dan kemudian mengendap pada katode. Ion Cu^{2+} mengalami reaksi reduksi menurut persamaan "setengah reaksi" yaitu:

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$$

3) Terjadi peristiwa aliran elektron (serah terima elektron) dari logam Zn sebagai anode ke logam Cu sebagai katode yang menghasilkan potensial listrik. Besarnya potensial listrik tersebut dapat diukur menggunakan voltmeter.

4) Peristiwa serah terima elektron terus berlangsung, sehingga dalam wadah katode larutan $CuSO_4$ semakin berkurang konsentrasinya. Hal tersebut disebabkan ion Cu^{2+} dalam larutan tereduksi menjadi Cu, yang menyebabkan massa logam Cu yang berfungsi sebagai katode semakin bertambah.

5) Massa logam Zn sebagai anode berkurang karena terlarut sebagai ion Zn^{2+}, sehingga ion Zn^{2+} dalam $ZnSO_4$ semakin bertambah.

6) Jumlah ion Zn^{2+} yang berlebihan menyebabkan larutan pada anode, $ZnSO_4(aq)$ semakin bermuatan positif, sebaliknya larutan dalam katode yaitu $CuSO_4$ semakin bermuatan negatif.

7) Jembatan garam terdiri atas larutan elektrolit inert seperti KCl atau NH_4NO_3 yang dilarutkan dalam agar-agar. Elektrolit yang digunakan pada jembatan garam harus bersifat inert supaya tidak bereaksi dengan kedua elektrode. Apabila jembatan garam terbuat dari larutan KCl, maka ion K^+ akan bergerak ke larutan yang lebih bermuatan negatif (ke arah katode), sebaliknya ion negatif Cl^- akan bergerak ke larutan yang bermuatan positif (ke arah anode).

Reaksi redoks yang terjadi dalam sel Volta, adalah:

Reaksi oksidasi (anode) : $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

Reaksi reduksi (katode) : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

Reaksi sel : $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

Penulisan reaksi redoks pada sel Volta dilambangkan dengan notasi atau diagram sel sebagai berikut:

$$Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq) \parallel Cu^{2+}(aq) \mid Cu(s)$$

Arti dari notasi sel tersebut adalah ruas kiri menyatakan reaksi pada anode, yaitu reaksi oksidasi Zn menjadi Zn^{2+}. Ruas kanan menyatakan reaksi pada katode, yaitu reaksi reduksi Cu^{2+} menjadi Cu. Tanda | (satu garis tegak) adalah tanda pembatas untuk fase yang berbeda, apabila fasenya sama dipisahkan dengan tanda koma. Reaksi yang terjadi pada anode dan katode dinetralkan oleh jembatan garam (tanda dua garis sejajar, ||).

Tokoh Kimia

Alessandro Volta



Alessandro Volta adalah seorang fisikawan Italia yang mempelopori penelitian di bidang listrik. Ia dilahirkan di Como, Italia pada 18 Februari 1745. Pada tahun 1774, ia menjadi guru besar fisika di Como. Setahun kemudian ia menemukan alat yang dapat menghasilkan muatan listrik statis (*elektroforus*). Volta mulai menekuni ilmu kimia yang berhubungan dengan listrik. Pada tahun 1779, ia menjadi guru besar fisika di Universitas Pavia selama 25 tahun. Pada tahun 1799, ia berhasil merancang sel Volta, suatu rancangan dasar baterai yang mampu menghasilkan arus listrik stabil.

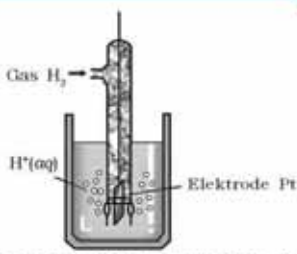
Berkat pengabdian dan karya Volta di bidang listrik, Kaisar Perancis, Napoleon Bonaparte menganugerahi gelar Pangeran (Count) pada tahun 1801. Sebagai penghormatan atas jasa-jasanya, nama Volta digunakan sebagai satuan tegangan listrik yaitu volt.

b. *Potensial Elektrode Standar*

Pada rangkaian sel Volta dengan menggabungkan dua sel, kita dapat memperoleh potensial sel yang diukur menggunakan voltmeter. Akan tetapi, apakah mungkin kita dapat menghitung potensial sel, tanpa menentukan nilai tertentu untuk masing-masing sel? Dalam hal ini, kita hanya dapat menentukan perbedaan potensial sel, tetapi kita tidak bisa menentukan nilai potensial suatu elektrode. Keadaan ini sama halnya dalam penentuan ketinggian suatu tempat di bumi. Berdasarkan keputusan internasional dinyatakan bahwa ketinggian nol adalah permukaan laut. Nilai ketinggian relatif yang telah diputuskan tersebut akan mempermudah kita untuk menentukan ketinggian suatu tempat.

Berdasarkan kesepakatan, nilai nol adalah potensial elektrode standar hidrogen. Nilai tersebut diperoleh pada pengukuran kondisi standar yaitu pada suhu 25°C dengan konsentrasi ion H^+ 1 M dan tekanan gas H_2 1 atm.

Pada percobaan (Gambar 2.5), permukaan logam platina yang bersifat inert mengabsorpsi gas hidrogen, sehingga ion H^+ langsung bereaksi dengan gas hidrogen, H_2. Keseimbangan antara H_2 dengan ion H^+ yang terbentuk pada permukaan logam platina adalah reaksi oksidasi H_2 menjadi H^+ dan reaksi reduksi H^+ menjadi H_2.

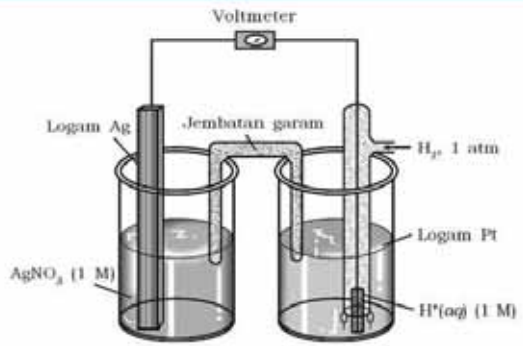


Gambar 2.5 *Potensial elektroda standar hidrogen*

Dalam reaksi keseimbangan tersebut nilai potensial hidrogen distandarisasi 0 volt. Hal ini merupakan keputusan internasional, IUPAC yang menyatakan bahwa **potensial elektrode standar, E°** berdasarkan kecenderungan reduksi yang terjadi pada elektrode, sehingga disebut juga *potensial reduksi standar.*

$$2H^+(aq) + 2e^- \overset{Pt}{\rightleftharpoons} H_2(g, 1\ atm)\ E^\circ = 0\ V$$

Penentuan potensial elektrode standar untuk elektrode yang lain dapat ditentukan dengan cara merancang sel Volta (Gambar 2.6) yang terdiri atas elektrode hidrogen (anode) dan elektrode Ag (katode). Elektron mengalir dari anode menuju katode pada potensial listrik sebesar 0,80 volt.



Gambar 2.6 *Penentuan potensial elektrode standar Ag*

Elektrode yang lebih mudah mengalami reduksi dibandingkan dengan elektrode hidrogen bernilai positif, sebaliknya elektrode yang lebih mudah mengalami oksidasi bernilai negatif. Jadi, semakin besar nilai potensial elektrode standar, maka elektrode tersebut semakin mudah mengalami reaksi reduksi. Potensial reduksi merupakan kebalikan dari potensial oksidasinya. Misalnya, nilai potensial elektrode Zn^{2+}/Zn = –0,76 V, artinya nilai *potensial reduksi standar* ion Zn^{2+} menjadi Zn sebesar –0,76 volt, sebaliknya nilai potensial oksidasi Zn menjadi Zn^{2+} sebesar +0,76 V.

$$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s) \qquad E^\circ = -0,76\ V$$
$$Zn(s) \rightarrow Zn(aq) + 2e^- \qquad E^\circ = +0,76\ V$$

Persamaan "setengah reaksi" untuk reduksi Zn^{2+} menjadi Zn dapat diubah menjadi "setengah reaksi" untuk oksidasi Zn, dengan mengubah nilai potensial elektrode menjadi **negatif** (berdasarkan

hasil kesepakatan, IUPAC menggunakan istilah "*electromotive force, emf*" setengah reaksi untuk potensial setengah reaksi).

$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ $E^\circ = +0{,}76$ V

Tabel Data Potensial Reduksi Standar

Sifat oksidator semakin kuat

"Setengah Reaksi" Reduksi	E°(V)
$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq)$	2,866
$S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}(aq)$	+2,010
$Co^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Co^{2+}(aq)$	+1,920
$H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	+1,766
$Ce^{4+}(aq) + e^- \rightarrow Ce^{3+}(aq)$	+1,720
$PbO_2(s) + 4H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$	+1,700
$MnO_4^-(aq) + 8H^+(aq) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 4H_2O(l)$	+1,507
$Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Au(s)$	+1,498
$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(aq)$	+1,358
$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	+1,229
$MnO_2(s) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 2H_2O(l)$	+1,224
$Br_2(l) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(aq)$	+1,087
$NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \rightarrow NO(g) + 2H_2O(l)$	0,957
$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$	+0,799
$Fe^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(aq)$	+0,771
$O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2O_2(aq)$	+0,695
$I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-(aq)$	+0,535
$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$	+0,401
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	+0,342
$Bi^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Bi(s)$	+0,300
$PbO_2(aq) + H_2O(l) + 2e^- \rightarrow PbO(aq) + 2OH^-(aq)$	+0,247
$Cu^{2+}(aq) + e^- \rightarrow Cu^+(aq)$	+0,153
$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	**0,00**
$Pb^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Pb(s)$	–0,126
$Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn(s)$	–0,137
$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$	–0,257
$Co^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Co(s)$	–0,280
$Cd^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cd(s)$	–0,403
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	–0,447
$Cr^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Cr(s)$	–0,744
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$	–0,762
$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$	–0,828
$Mn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mn(s)$	–1,185
$Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Al(s)$	–1,662

Sifat reduktor semakin kuat

$Be^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Be(s)$	–1,847
$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$	–2,372
$Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$	–2,710
$Ca^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ca(s)$	–2,868
$Sr^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sr(s)$	–2,890
$Ba^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ba(s)$	–2,912
$K^+(aq) + e^- \rightarrow K(s)$	–2,931
$Li^+(aq) + e^- \rightarrow Li(s)$	–3,040

Sumber: *General Chemistry (An Integrated Approach)*

c. *Perhitungan Potensial Sel*

Data potensial reduksi standar dapat digunakan untuk menentukan nilai potensial sel Volta. Diketahui nilai potensial reduksi standar elektrode Cu dan Zn, sebagai contoh:

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s) \quad E^\circ = +0{,}34$ V
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s) \quad E^\circ = -0{,}76$ V

Reaksi redoks merupakan reaksi penjumlahan dari kedua "setengah reaksi" yang terjadi dalam suatu sel elektrokimia. Pada sel Volta tersebut terjadi reaksi reduksi ion Cu^{2+} menjadi Cu dan reaksi oksidasi Zn menjadi Zn^{2+}, sehingga reaksi redoksnya:

Reaksi oksidasi (anode) : $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ $\quad E^\circ = +0{,}76$ V
Reaksi reduksi (katode) : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ $\quad E^\circ = +0{,}34$ V
+
Reaksi sel : $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ $\quad E^\circ_{sel} = +1{,}10$ V

Suatu reaksi redoks memiliki nilai potensial reaksi redoks yaitu potensial sel yang menunjukkan perbedaan tegangan (*voltage*) antara kedua elektrode dan ini disebut *electromotive force, emf* sel(E_{sel}). Reaksi redoks pada sel Volta, $Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq) \parallel Cu^{2+}(aq) \mid Cu(s)$, memiliki nilai potensial standar, E°_{sel} sebesar +1,10 V.

Dengan demikian nilai potensial standar sel dapat dihitung dengan menggunakan rumus umum:

$$E^\circ_{sel} = E^\circ_{katode} - E^\circ_{anode}$$

Keterangan:

E°_{katode} = potensial elektrode standar zat yang bertindak sebagai katode (reaksi reduksi).

E°_{anode} = potensial elektrode standar zat yang bertindak sebagai anode (reaksi oksidasi).

Perhatikan data potensial reduksi standar (Tabel 2.1), sifat oksidator semakin ke atas semakin kuat artinya semakin mudah mengalami reduksi, sebaliknya sifat reduktor semakin ke bawah semakin kuat, artinya semakin mudah mengalami oksidasi.

Pada sel Volta, katode merupakan elektrode tempat terjadinya reaksi reduksi dan anode tempat terjadinya reaksi oksidasi. Reaksi spontan pada sel Volta dapat terjadi apabila unsur pada katode merupakan zat yang lebih mudah mengalami reduksi (lebih bersifat oksidator). Pada Tabel 2.1 nampak bahwa suatu unsur semakin mudah mengalami reduksi apabila nilai potensial reduksi standarnya semakin besar. Jadi, dalam sel Volta akan terjadi reaksi spontan apabila potensial reduksi standar katode lebih besar daripada potensial reduksi standar anode.

Contoh soal 2.3:

Suatu sel Volta terdiri atas elektrode Mg dalam larutan $Mg(NO_3)_2$ dan elektrode Ag dalam larutan $AgNO_3$. Apabila konsentrasi larutan masing-masing 1 M, tentukan:

a. potensial sel,
b. reaksi sel, dan
c. lambang sel!

Diketahui data potensial standar elektrode:

$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s) \quad E^\circ = -2{,}37$ V

$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s) \quad E^\circ = +0{,}80$ V

Penyelesaian:

a. Berdasarkan data yang diketahui Ag memiliki potensial reduksi yang lebih besar daripada Mg, artinya Ag lebih mudah tereduksi dibandingkan Mg.

$$E^\circ_{sel} = E^\circ_{katode} - E^\circ_{anode}$$
$$= (+0{,}80\text{ V}) - (-2{,}37\text{ V})$$
$$= 3{,}17\text{ V}$$

b. Melalui pertimbangan di atas, maka Ag digunakan sebagai katode dan Mg sebagai anode. Reaksi sel yang terjadi adalah:

Reaksi reduksi (katode) : $2Ag^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2Ag(s) \quad E^\circ = +0{,}80$ V

Reaksi oksidasi (anode) : $Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2e^- \quad E^\circ = +2{,}37$ V

Reaksi sel : $2Ag^+(aq) + Mg(s) \rightarrow 2Ag(s) + Mg^{2+}(aq) \quad E^\circ_{sel} = +3{,}17$ V

c. Lambang sel: $Mg(s) \,|\, Mg^{2+}(aq) \,||\, Ag^+(aq) \,|\, Ag(s)$

Catatan: nilai potensial elektrode tidak bergantung pada koefisien reaksi.

Contoh soal 2.4:

Suatu sel Volta mengalami reaksi redoks sebagai berikut:

$Fe^{2+}(aq) + Mg(s) \rightarrow Fe(s) + Mg^{2+}(aq)$

Diketahui: $E^{\circ}_{Fe^{2+}/Fe} = -0,44$ V; $E^{\circ}_{Mg^{2+}/Mg} = -2,37$ V

Tentukan:

a. potensial sel,
b. rancangan sel Volta yang dilengkapi oleh arah gerakan elektron, dan
c. reaksi sel (penjumlahan reaksi kedua elektrode)!

Penyelesaian:

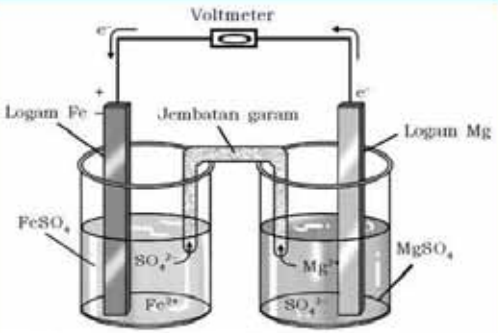
a. Pada reaksi redoks: $Fe^{2+}(aq) + Mg(s) \rightarrow Fe(s) + Mg^{2+}(aq)$, ion Fe^{2+} tereduksi menjadi Fe dan Mg teroksidasi menjadi Mg^{2+}. Potensial sel dapat dihitung dengan cara:

$$E^{\circ}_{sel} = E^{\circ}_{katode} - E^{\circ}_{anode}$$
$$= (-0,44\text{ V}) - (-2,37\text{ V})$$
$$= +1,93\text{ V}$$

b. Nilai potensial reduksi Fe lebih besar daripada Mg, sehingga Fe lebih mudah tereduksi dibandingkan Mg. Jadi, logam besi (Fe) berfungsi sebagai katode dan logam magnesium (Mg) digunakan sebagai anode.

Logam Mg sebagai anode dimasukkan ke dalam larutan $MgSO_4$ dan logam Fe sebagai katode dimasukkan ke dalam larutan $FeSO_4$. Logam Mg dalam $MgSO_4$ akan terlarut menjadi ion Mg^{2+} sambil melepaskan elektron yang akan mengalir melalui kawat penghubung menuju logam Fe sebagai katode.

Adanya muatan positif karena logam Mg melepaskan elektron menjadi ion Mg^{2+} dinetralkan oleh perpindahan ion negatif dari jembatan garam yang mengalir ke anode, sebaliknya berkurangnya ion positif oleh karena reduksi Fe^{2+} menjadi Fe dinetralkan oleh perpindahan ion positif dari jembatan garam yang mengalir ke katode. Misal larutan yang digunakan dalam jembatan garam adalah KNO_3, untuk menetralkan larutan pada kedua elektrode, maka kation K^+ akan bergerak ke arah katode dan anion NO_3^- menuju anode.



Gambar 2.7 *Rancangan sel Volta Fe^{2+} dan Mg*

c. Reaksi sel Volta pada reaksi redoks:

$Fe^{2+}(aq) + Mg(s) \rightarrow Fe(s) + Mg^{2+}(aq)$, adalah:

Reaksi oksidasi (anode) : $Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2e^-$ $E^\circ = +2{,}37$ V

Reaksi reduksi (katode) : $Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$ $E^\circ = -0{,}44$ V

Reaksi sel : $Fe^{2+}(aq) + Mg(s) \rightarrow Fe(s) + Mg^{2+}(aq)$ $E^\circ_{sel} = +1{,}93$ V

Kerjakan tugas berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan, berpikir kritis,** dan mengembangkan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 2.4

1. Diketahui data potensial standar, sebagai berikut:

   $Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn(s)$ $E^\circ = -0{,}14$ V

   $Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$ $E^\circ = -0{,}45$ V

   $Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Al(s)$ $E^\circ = -1{,}66$ V

   $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ $E^\circ = +0{,}34$ V

   $Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(aq)$ $E^\circ = +1{,}36$ V

   Berdasarkan data potensial standar tersebut, tentukan potensial standar sel reaksi berikut ini!

   a. $3Sn^{2+}(aq) + 2Al(s) \rightarrow 3Sn(s) + 2Al^{3+}(aq)$

   b. $3Fe^{2+}(aq) + 2Al(s) \rightarrow 3Fe(s) + 2Al^{3+}(aq)$

   c. $Cl_2(g) + Sn^{2+}(aq) \rightarrow 2Cl^-(aq) + Sn(s)$

   d. $Cu^{2+}(aq) + Fe(s) \rightarrow Cu(s) + Fe^{2+}(aq)$

   e. $Cl_2(g) + Cu(s) \rightarrow 2Cl^-(aq) + 2Cu^{2+}(aq)$

2. Dalam suatu sel Volta reaksi redoks adalah sebagai berikut: $3Cu^{2+}(aq) + 2Al(s) \rightarrow 3Cu(s) + 2Al^{3+}(aq)$
Tentukan rancangan sel Volta untuk reaksi tersebut, lengkap dengan katode, anode, dan arah aliran elektron!

d. Penentuan Kespontanan Reaksi Redoks

1) Berdasarkan Perhitungan Potensial Standar Sel

Berlangsung spontan atau tidaknya suatu reaksi redoks ditunjukkan oleh nilai potensial standar sel (E°_{sel}) yang dihasilkan. E°_{sel} yang bernilai positif ($E^\circ_{sel} > 0$) menunjukkan bahwa reaksi redoks berlangsung spontan, sebaliknya apabila bernilai negatif maka reaksi redoks tidak berlangsung. Semakin besar nilai potensial standar maka semakin mudah mengalami reduksi, sebaliknya semakin kecil nilai potensial standar maka semakin mudah mengalami oksidasi. Rumus $E^\circ_{sel} = E^\circ_{katode} - E^\circ_{anode}$, agar reaksi redoks berlangsung spontan $E^\circ_{sel} > 0$ maka $E^\circ_{katode} > E^\circ_{anode}$.

Contoh soal 2.5:

Diketahui:

$E^\circ_{Ag^+/Ag} = +0{,}80$ V $E^\circ_{Zn^{2+}/Zn} = -0{,}76$ V

$E^\circ_{Fe^{2+}/Fe} = -0{,}44$ V $E^\circ_{Mg^{2+}/Mg} = +0{,}80$ V

Berdasarkan data potensial standar tersebut, tentukan reaksi redoks di bawah ini dapat berlangsung secara spontan atau tidak!

a. $Fe^{2+}(aq) + Zn(s) \rightarrow Fe(s) + Zn^{2+}(aq)$
b. $Zn^{2+}(aq) + Mg(s) \rightarrow Zn(s) + Mg^{2+}(aq)$
c. $Fe^{2+}(aq) + 2Ag(s) \rightarrow Fe(s) + 2Ag^{+}(aq)$
d. $Zn^{2+}(aq) + 2Ag(s) \rightarrow Zn(s) + 2Ag^{+}(aq)$

Penyelesaian:

a. $Fe^{2+}(aq) + Zn(s) \rightarrow Fe(s) + Zn^{2+}(aq)$
Pada katode terjadi reduksi Fe^{2+} menjadi Fe dan pada anode terjadi oksidasi Zn menjadi Zn^{2+}.

$E^\circ_{katode} = E^\circ_{Fe^{2+}/Fe} = -0{,}44$ V

$E^\circ_{anode} = E^\circ_{Zn^{2+}/Zn} = -0{,}76$ V

Karena $E^\circ_{katode} > E^\circ_{anode}$, maka reaksi redoks berlangsung spontan.

b. $Zn^{2+}(aq) + Mg(s) \rightarrow Zn(s) + Mg^{2+}(aq)$
Pada katode terjadi reduksi Zn^{2+} menjadi Zn dan pada anode terjadi oksidasi Mg menjadi Mg^{2+}.
$E^{\circ}_{katode} = E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn} = -0,76$ V

$E^{\circ}_{anode} = E^{\circ}_{Mg^{2+}/Mg} = -2,37$ V

Karena $E^{\circ}_{katode} > E^{\circ}_{anode}$, maka reaksi redoks berlangsung spontan.

c. $Fe^{2+}(aq) + 2Ag(s) \rightarrow Fe(s) + 2Ag^{+}(aq)$
Pada katode terjadi reduksi Fe^{2+} menjadi Fe dan pada anode terjadi oksidasi Ag menjadi Ag^{+}.
$E^{\circ}_{katode} = E^{\circ}_{Fe^{2+}/Fe} = -0,44$ V

$E^{\circ}_{anode} = E^{\circ}_{Ag^{+}/Ag} = +0,80$ V

Karena $E^{\circ}_{katode} < E^{\circ}_{anode}$, maka reaksi redoks tidak berlangsung spontan.

d. $Zn^{2+}(aq) + 2Ag(s) \rightarrow Zn(s) + 2Ag^{2+}(aq)$
Pada katode terjadi reduksi Zn^{2+} menjadi Zn dan pada anode terjadi oksidasi Ag menjadi Ag^{+}.
$E^{\circ}_{katode} = E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn} = -0,76$ V

$E^{\circ}_{anode} = E^{\circ}_{Ag^{+}/Ag} = +0,80$ V

Karena $E^{\circ}_{katode} < E^{\circ}_{anode}$, maka reaksi redoks tidak berlangsung spontan.

2) Pendesakan dalam Deret Volta

Selain menggunakan perhitungan potensial standar sel, kespontanan suatu redoks dapat diketahui melalui cara pendesakan *deret Volta*, yaitu deret unsur-unsur yang disusun berdasarkan kenaikan potensial standar. Berikut ini sebagian unsur-unsur yang telah disusun berdasarkan kenaikan potensial standar:

Li K Ba Ca Na Mg Al Mn Zn Fe Ni Sn Pb (H) Cu Hg Ag Pt Au

Tips

Unsur-unsur deret Volta mudah diingat dengan menggunakan jembatan pengingat, seperti:

Li K Ba Ca Na Mg Al Mn Zn Fe Ni Sn Pb (H) Cu Hg Ag Pt Au

Lihat **Ka**lau **Ba**ginda **Ca**esar **Na**nti **Me**ninggal
Alam **Ma**na **Za**man **Fe**odal
Nipon **Se**nang **Pe**mbagian **Ha**rta
Crupuk **Ha**ngus **Aga**k **Pa**hit **Au**w

Penentuan kespontanan reaksi redoks menggunakan deret Volta dengan pereaksi logam dan larutan. Reaksi redoks secara umum dapat ditulis: **A(s) + $B^+(aq)$ → $A^+(aq)$ + B(s)**

Reaksi tersebut dapat berlangsung spontan, jika A sebagai logam bebas terletak di sebelah kiri logam B sebagai ion pada deret Volta. Unsur-unsur pada deret Volta disusun berdasarkan kenaikan potensial standar, sehingga semakin ke kiri nilai potensial standar semakin kecil dan semakin mudah mengalami oksidasi (logam semakin reaktif). Jadi, reaksi redoks dapat berlangsung spontan apabila logam yang reaktif (sebelah kiri) mampu mendesak logam yang kurang reaktif (sebelah kanan).

Contoh soal 2.6:

Tentukan reaksi berikut berlangsung secara spontan atau tidak!

a. $Fe^{2+}(aq) + Zn(s) \rightarrow Fe(s) + Zn^{2+}(aq)$
b. $Zn(OH)_2(aq) + Mg(s) \rightarrow Zn(s) + Mg^{2+}(aq)$
c. $FeSO_4(aq) + 2Ag(s) \rightarrow Fe(s) + 2Ag^+(aq)$
d. $Zn^{2+}(aq) + 2Ag(s) \rightarrow Zn(s) + 2Ag^+(aq)$

Penyelesaian:

a. Reaksi dapat berlangsung spontan karena Zn sebagai logam bebas terletak di sebelah kiri Fe.
b. Reaksi dapat berlangsung spontan karena Mg sebagai logam bebas terletak di sebelah kiri Zn.
c. Reaksi tidak dapat berlangsung spontan karena Ag sebagai logam bebas terletak di sebelah kanan Fe.
d. Reaksi tidak dapat berlangsung spontan karena Ag sebagai logam bebas terletak di sebelah kanan Zn.

Kerjakan tugas berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan** dan kalian dapat **berpikir kritis!**

Tugas 2.5

Berdasarkan cara perhitungan potensial standar sel dan pendesakan deret Volta, tentukan reaksi berikut dapat berlangsung secara spontan atau tidak!

a. $Pb^{2+}(aq) + 2Ag(s) \rightarrow Pb(s) + 2Ag^+(aq)$
b. $Sn^{2+}(aq) + Ni(s) \rightarrow Sn(s) + Ni^{2+}(aq)$
c. $PbCl_2(aq) + Ag(s) \rightarrow Pb(s) + AgCl_2(aq)$
d. $Ca(s) + Mg(NO_3)_2(aq) \rightarrow Ca(NO_3)_2(aq) + Mg(s)$
e. $Zn(s) + NiSO_4(aq) \rightarrow ZnSO_4(aq) + Ni(s)$

Diketahui:

$E^\circ_{Ca^{2+}/Ca} = -2{,}87$ V	$E^\circ_{Sn^{2+}/Sn} = -0{,}14$ V
$E^\circ_{Mg^{2+}/Mg} = -2{,}37$ V	$E^\circ_{Pb^{2+}/Pb} = -0{,}13$ V
$E^\circ_{Zn^{2+}/Zn} = -0{,}76$ V	$E^\circ_{Ag^{+}/Ag} = +0{,}80$ V
$E^\circ_{Ni^{2+}/Ni} = -0{,}26$ V	

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja, berpikir kritis,** mengembangkan **kecakapan sosial,** dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 2.1

Kespontanan Reaksi Redoks

Tujuan:

1. Menentukan reaksi redoks spontan dan tidak spontan.
2. Memahami pengaruh letak suatu logam dalam deret Volta terhadap kespontanan reaksi redoks.

Alat:

1. Tabung uji (tabung reaksi)
2. Rak tabung uji
3. Pipet tetes

Bahan:

1. Larutan $Al_2(SO_4)_2$ 1 M
2. Larutan $CuSO_4$ 1 M
3. Larutan HCl 1 M
4. Lempeng logam aluminium
5. Lempeng logam tembaga

Cara Kerja:

1. Ampelas kedua logam hingga bersih.
2. Gunting kedua lempeng logam menjadi ukuran 1 × 1 cm, masing-masing dua potong.
3. Siapkan empat tabung uji dan beri tanda masing-masing tabung, misalnya A, B, C, dan D.
4. Isi keempat tabung dengan larutan, sebagai berikut:
   a. Tabung A dengan 3 mL $CuSO_4$ 1 M
   b. Tabung B dengan 3 mL $Al_2(SO_4)_3$ 1 M
   c. Tabung C dan D masing-masing dengan 3 mL HCl 1 M

5. Tambahkan lempeng logam aluminium ke dalam tabung uji A dan C, sedangkan logam tembaga ke dalam tabung uji B dan D.
6. Amati dan catat perubahan yang terjadi setelah 10 menit.

Hasil Pengamatan:

Keterangan	Tabung A	Tabung B	Tabung C	Tabung D
Larutan	$CuSO_4$	$Al_2(SO_4)_3$	HCl	HCl
Warna larutan	.....	.....	.....	.....
Logam	Al	Cu	Al	Cu
Perubahan yang terjadi setelah penambahan logam	1)..... 2)..... 3)..... 4)dst	1)..... 2)..... 3)..... 4)dst	1)..... 2)..... 3)..... 4)dst	1)..... 2)..... 3)..... 4)dst

Pertanyaan:

1. Berdasarkan hasil pengamatan:
   a. Pada tabung mana terjadi reaksi redoks spontan?
   b. Pada tabung mana tidak terjadi reaksi redoks?
   c. Tuliskan reaksi redoks hasil percobaan!
2. Bandingkan reaksi redoks yang berlangsung (spontan) dengan letak logam dalam deret Volta!
3. Apakah ciri-ciri reaksi redoks yang berlangsung spontan?
4. Jelaskan pengaruh pendesakan logam deret Volta terhadap kespontanan reaksi redoks!
5. Apakah kesimpulan dari percobaan di atas? Diskusikan dengan teman kalian!

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja, kreativitas,** mengembangkan **kecakapan sosial,** dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 2.2

Sel Volta

Tujuan:

1. Merancang sel Volta.
2. Mengukur potensial sel Volta.
3. Memahami pengaruh potensial elektrode standar terhadap potensial sel Volta.

Alat:

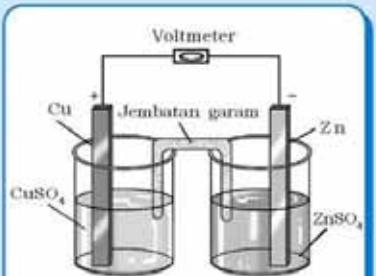
1. Gelas kimia
2. Tabung U
3. Voltmeter
4. Jepit buaya

Bahan:

1. Lempeng logam seng
2. Lempeng logam tembaga
3. Larutan $ZnSO_4$ 1 M
4. Larutan $CuSO_4$ 1 M

Cara Kerja:

1. Masukkan 50 mL larutan $ZnSO_4$ 1 M ke dalam gelas kimia dan celupkan logam seng ke dalam larutan tersebut.
2. Masukkan 50 mL larutan $CuSO_4$ 1 M ke dalam gelas kimia dan celupkan logam tembaga ke dalam larutan tersebut.
3. Hubungkan kedua larutan tersebut dengan jembatan garam yang terdiri atas larutan garam, misalnya Na_2SO_4 atau KNO_3 dalam agar-agar.
   Catatan: jembatan garam sebaiknya disediakan sebelum percobaan agar waktu percobaan lebih efektif.
4. Hubungkan logam seng dengan kutub negatif dan logam tembaga dengan kutub positif pada voltmeter melalui jepit buaya.
5. Baca potensial sel pada voltmeter dan amati perubahan yang terjadi setelah 5 menit.
6. Hubungkan logam seng dengan kutub positif dan logam tembaga dengan kutub negatif pada voltmeter melalui jepit buaya.
7. Baca potensial pada voltmeter dan amati perubahan yang terjadi.



Gambar 2.8 *Rancangan sel Volta*

Hasil Pengamatan:

Kutub Positif (Kanode)	Kutub Negatif (Anode)	Potensial Sel	Perubahan yang Terjadi
logam Cu	logam Zn	.... volt	1) .... 2) .....dst
logam Zn	logam Cu	.... volt	1) .... 2) .....dst

Pertanyaaan:

1. Perubahan apa yang terjadi apabila kedua elektrode dibalik (langkah 4 s/d 7)? Mengapa demikian?
2. Berdasarkan hasil percobaan:
   a. Tuliskan reaksi redoks yang dapat berlangsung (spontan)!
   b. Tuliskan dalam bentuk lambang sel reaksi redoks tersebut!
3. Jelaskan dengan arah gerakan elektron dalam larutan pada reaksi redoks yang berlangsung spontan!
4. Jelaskan fungsi jembatan garam dalam rangkaian sel Volta tersebut!
5. Diketahui data potensial elektrode standar

   $E^{\circ}_{Cu^{2+}/Cu} = +0{,}34$ V

   $E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn} = -0{,}76$ V

   Tentukan nilai potensial sel Volta percobaan dengan:
   a. Logam Cu sebagai katode dan logam Zn sebagai anode.
   b. Logam Zn sebagai katode dan logam Cu sebagai anode.
6. Jelaskan pengaruh potensial elektrode standar dengan potensial sel yang dihasilkan oleh suatu sel Volta!
7. Apakah kesimpulan dari percobaan di atas? Diskusikan dengan teman kalian!

e. *Sel Volta dalam Kehidupan*

Salah satu sumber tenaga listrik yang banyak digunakan saat ini adalah baterai. Keuntungan penggunaan baterai sebagai sumber energi listrik adalah sifatnya yang praktis, murah, dan tahan lama. Aplikasi sel Volta dalam kehidupan sehari-hari adalah baterai dan

accumulator (aki), keduanya bekerja berdasarkan prinsip yang sama yaitu reaksi redoks spontan. Sel Volta dibedakan menjadi dua, yaitu:

1) *Sel primer,* yaitu sel yang tidak dapat diisi ulang. Misalnya baterai biasa (sel kering), baterai alkali, dan baterai perak oksida.
2) *Sel sekunder,* yaitu sel yang dapat diisi ulang (disetrum). Misalnya baterai nikel kadmium dan aki.

Sel-sel tersebut digunakan pada berbagai alat elektronika, seperti jam, kalkulator, lampu senter, radio, dan telepon genggam.

1) Baterai

a) Baterai Kering

Baterai adalah sel elektrokimia yang biasanya dihubungkan seri dan dapat digunakan sebagai sumber energi listrik dengan voltase konstan. Baterai kering adalah jenis baterai yang telah banyak digunakan orang sebagai sumber energi untuk barang-barang elektronika. Baterai kering dipatenkan oleh George Lechlance pada tahun 1866, oleh karena itu baterai kering juga dikenal dengan *sel Lechlance* (Gambar 2.9).

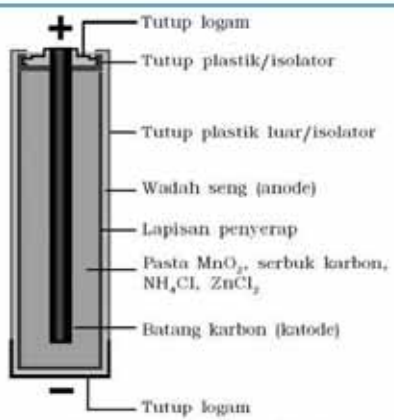


Sumber: *www.bgrg.mdinet.hu*

Gambar 2.9 *Model sel Lechlance yang dikeluarkan pertama kali*

Sel Lechlance disebut baterai "kering" karena elektrolit yang digunakan sebagai oksidator berbentuk pasta (cairan yang memiliki kadar air rendah). Baterai kering terdiri atas logam seng sebagai elektrode negatif (anode) dan batang karbon inert (tidak reaktif) sebagai elektrode positif (katode).

Seng dalam baterai sebagai anode juga berfungsi wadah komponen dalam baterai. Batang karbon sebagai katode yang diletakkan dalam wadah seng dikelilingi oleh campuran pasta MnO_2 dan serbuk karbon (Gambar 2.10). Pasta MnO_2 berfungsi sebagai oksidator lapisan pasta tersebut dikelilingi oleh lapisan kedua yang terdiri atas campuran NH_2Cl dan $ZnCl_2$.



Gambar 2.10 *Susunan komponen dalam baterai kering atau sel Lechlance*

Secara umum reaksi redoks yang terjadi pada baterai kering, sebagai berikut:

Anode : $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

Katode : $2MnO_2(s) + 2NH_4^+(aq) + 2e^- \rightarrow Mn_2O_3(s) + 2NH_3(aq) + 2H_2O(l)$

Reaksi total : $Zn(s) + 2MnO_2(s) + 2NH_4^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Mn_2O_3(s) + 2H_2O(l)$

Salah satu produk yang dihasilkan pada katode adalah NH_3 terlarut yang akan bereaksi dengan Zn^{2+} membentuk ion kompleks $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$. Baterai kering menghasilkan potensial sel sebesar 1,5 volt.

Tokoh Kimia

George Lechlance



George Lechlance lahir di Parmain, Perancis pada tahun 1839. Ia belajar di Inggris kemudian melanjutkan sekolah teknik di Perancis hingga tahun 1860. Enam tahun setelah Lechlance bekerja sebagai seorang insinyur, ia berhasil mengembangkan baterai ciptaannya yang terdiri atas larutan elektrolit amonium klorida, menggunakan logam seng sebagai kutub positif dan logam mangan sebagai kutub negatif. Ia berhasil mematenkan baterai ciptaannya pada tahun 1866. Baterai ini dikenal dengan sel kering Lechlance yang merupakan pelopor perkembangan baterai selanjutnya.

b) Baterai Alkali

Baterai alkali bila ditinjau dari namanya adalah baterai yang dalam komponennya mengandung unsur alkali (Gambar 2.11). Pasta pada baterai alkali mengandung unsur alkali yaitu KOH,

larutan tersebut digunakan sebagai pengganti NH_4Cl pada baterai kering. Susunan baterai alkali (Gambar 2.12) berbeda dengan baterai kering, tetapi reaksi redoks yang terjadi pada baterai alkali prinsipnya sama dengan reaksi redoks pada baterai kering yaitu oksidasi logam seng dan reduksi mangan dioksida (MnO_2), tetapi hasil yang terjadi berbeda karena melibatkan ion hidroksida (OH^-) dari pasta KOH.



Sumber: *www.electronicsoutfitter.com*

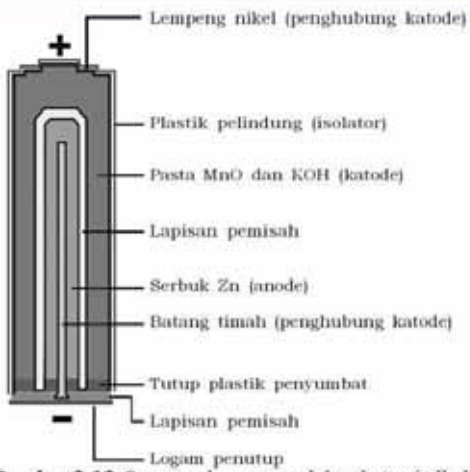
Gambar 2.11 *Baterai alkali 9V yang terdapat di pasaran*

Reaksi redoks yang terjadi pada baterai alkali, sebagai berikut:

Anode : $Zn(s) + 2OH^-(aq) \rightarrow ZnO(s) + H_2O(l) + 2e^-$

Katode : $2MnO_2(s) + H_2O(l) + 2e^- \rightarrow Mn_2O_3(s) + 2OH^-(aq)$ +

Reaksi total : $Zn(s) + 2MnO_2(s) \rightarrow ZnO(s) + Mn_2O_3(s)$



Gambar 2.12 *Susunan komponen dalam baterai alkali*

Potensial sel yang dihasilkan baterai alkali sama dengan baterai kering yaitu sebesar 1,5 volt, tetapi baterai alkali memiliki daya dua kali lebih besar daripada baterai kering.

c) Baterai Perak Oksida

Baterai ini banyak digunakan sebagai sumber energi elektronika seperti jam, kalkulator, dan alat bantu pendengaran. Selain bentuknya yang sangat kecil dan praktis, baterai ini juga lebih tahan lama dengan menggunakan perak oksidasi sebagai katode serta elektrolit pasta KOH.

Reaksi redoks yang terjadi pada baterai perak oksida adalah sebagai berikut:

Anode : $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

Katode : $Ag_2O(s) + H_2O(l) + 2e^- \rightarrow 2Ag(s) + 2OH^-(aq)$

Reaksi total : $Zn(s) + Ag_2O(s) + H_2O(l) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2Ag(s) + 2OH^-(aq)$

Zn^{2+} yang dihasilkan akan bereaksi dengan ion OH^- membentuk $Zn(OH)_2$. Potensial sel yang dihasilkan oleh baterai perak oksida sebesar 1,5 volt.

d) Baterai Nikel Kadmium

Baterai kering, baterai alkali, dan baterai oksida termasuk sel primer karena tidak dapat diisi ulang. Baterai nikel kadmium dikembangkan oleh Thomas Alva Edison, sehingga dikenal juga dengan nama *sel Edison* (Gambar 2.13). Baterai ini termasuk sel sekunder karena dapat diisi ulang (disetrum). Sesuai dengan namanya baterai nikel kadmium menggunakan kadmium sebagai anode dan nikel sebagai katode.

Reaksi redoks yang terjadi pada baterai nikel kadmium adalah sebagai berikut:

Anode : $Cd(s) + 2OH^-(aq) \rightarrow Cd(OH)_2(s) + 2e^-$

Katode : $NiO(OH)(s) + H_2O(l) + e^- \rightarrow Ni(OH)_2(s) + OH^-(aq)$

Reaksi total : $Cd(s) + 2NiO(OH)(s) + 2H_2O(l) \rightarrow Cd(OH)_2(aq) + 2Ni(OH)_2(s)$

Potensial sel baterai nikel kadmium sebesar 1,2 V. Produk yang dihasilkan berupa padatan (NiO(OH) dan $Ni(OH)_2$) yang melekat pada kedua elektrode. Padatan tersebut dapat diubah menjadi zat semula dengan membalik arah aliran elektron melalui proses isi ulang (setrum). Kekurangan dari baterai ini adalah proses pengisiannya yang rumit dan penggunaan logam berat kadmium yang berbahaya bagi lingkungan.



Sumber: www.panasonic.com

Gambar 2.13 *Baterai nikel kadmium*

e) Baterai NiMH

Sebagian besar susunan baterai nikel-logam hidrida (*nickel - metal hydride, NiMH*) hampir sama dengan baterai nikel kadmium (Gambar 2.14). Baterai terdiri atas anode NiMH (berupa logam hidrida) dan katode nikel oksida. Elektrolit yang digunakan adalah KOH yang diletakkan dalam lembaran polimer. Reaksi redoks yang terjadi dalam baterai NiMH, sebagai berikut:

Anode : $(M)H(s) + OH^-(aq) \rightarrow M(s) + H_2O(l) + e^-$

Katode : $NiO(OH)(s) + H_2O(l) + e^- \rightarrow Ni(OH)_2(s) + OH^-(aq)$

Reaksi total : $(M)H(s) + NiO(OH)(s) \rightarrow M(s) + Ni(OH)_2(s)$

Potensial sel yang dihasilkan sebesar 1,2 volt. Kelebihan baterai NiMH adalah tahan lama, dapat diisi ulang, dan ramah lingkungan.



Sumber: *www.all-battery.com*

Gambar 2.14 *Susunan seri 20 buah baterai NiMH yang memiliki potensial sel 24 V*

f) Baterai Litium

Litium merupakan unsur yang lebih banyak terdapat dalam bentuk ionnya dalam larutan. Hal tersebut yang mendasari perkembangan baterai litium yang dapat diisi ulang. Baterai litium pada umumnya terdiri atas karbon sebagai anode dan litium kobalt dioksida sebagai katode, dengan elektrolit berupa garam litium.

Potensial sel baterai litium sebesar 3,6 V. Baterai litium memiliki masa pakai yang lama karena dapat diisi ulang dengan proses yang

Info Kimia

Pacemaker adalah alat yang digunakan bagi penderita jantung untuk mengatur detak jantung dalam tubuh menjadi normal. Sumber energi listrik yang digunakan dalam pacemaker adalah baterai litium.

Pengguna pacemaker harus rutin melakukan pemeriksaan jantung dan mengganti baterai secara kontinu, karena alat tersebut dapat menimbulkan gangguan akibat arus listrik yang tidak stabil. Carilah aplikasi baterai lainnya dalam teknologi kesehatan!

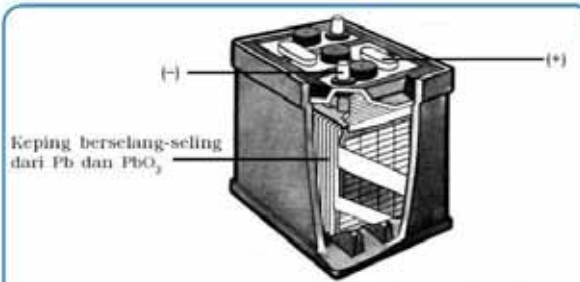
sederhana (setrum). Baterai ini banyak digunakan sebagai sumber energi listrik pada barang-barang elektronika seperti telepon genggam dan laptop.

2) Aki (Accu)

Aki adalah salah satu sel Volta yang memiliki potensial listrik besar dan digunakan sebagai sumber energi listrik, khususnya kendaraan bermotor. Aki merupakan bentuk multisel, karena tersusun dari beberapa sel tunggal yaitu sel timbal, sehingga aki disebut juga sel timbal. Suatu sel timbal pada aki disusun dari lempengan timbal oksida sebagai katode, sel-sel timbal tersebut disusun seri yang dipisahkan oleh sekat kaca (Gambar 2.15). Susunan tersebut dicelupkan pada larutan elektrolit H_2SO_4 38%.

Info Kimia

Sel Volta dapat menghasilkan reaksi sel berupa reaksi pembakaran, yang disebut dengan sel bahan bakar (*fuel cells*). Contohnya adalah sel hidrogen oksigen. Sel jenis ini digunakan untuk bahan bakar pesawat luar angkasa dan kendaraan (mobil). Kelebihannya adalah bebas polusi udara yang membahayakan lingkungan. Sebagai contoh, mobil teknologi terbaru dari Mercedes Benz telah menggunakan sel bahan bakar. New Car (NECAR) 3 yang telah dikembangkan oleh perusahaan mobil terkenal tersebut merupakan kendaraan pelopor yang menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar utama yang diperoleh dari pereaksi metanol. Carilah aplikasi sel bahan bakar lainnya! Kembangkan semangat inovasi kalian!



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer 4*

Gambar 2.15 *Susunan komponen dalam aki (accu)*

Reaksi yang terjadi pada saat aki digunakan, sebagai berikut:

Anode : $Pb(s) + HSO_4^-(aq) \rightarrow PbSO_4(s) + H^+(aq) + 2e^-$

Katode : $PbO_2(s) + 3H^+(aq) + HSO_4^-(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$

Reaksi total : $Pb(s) + PbO_2(s) + HSO_4^-(aq) + 2H^+(aq) \rightarrow 2PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$

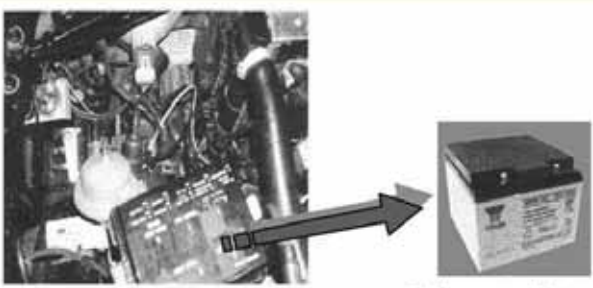
Aki terdiri atas 6 sel timbal yang disusun seri, masing-masing sel timbal memiliki potensial sel sebesar 2 volt (Gambar 2.16). Jadi, aki memiliki potensial sel sebesar 12 volt. Pada penggunaan aki terjadi beberapa perubahan pada komponen sel, yaitu:

a) Pada anode dan katode terjadi endapan $PbSO_4$, apabila seluruh permukaan pada masing-masing elektrode telah tertutup oleh $PbSO_4$, maka beda potensial menjadi berkurang hingga tidak ada beda potensial, sehingga aki perlu diisi ulang (disetrum).

b) Salah satu hasil reaksi pada saat aki bekerja adalah H_2O, sehingga konsentrasi H_2SO_4 semakin berkurang. Larutan H_2SO_4 digunakan pada pengisian aki memiliki massa jenis antara 1,25 g mL^{-1} atau 1,30 g mL^{-1}. Apabila konsentrasi H_2SO_4 berkurang, maka massa jenis larutan akan berkurang. Aki perlu diisi ulang apabila massa jenis H_2SO_4 yang diukur oleh *hidrometer* telah turun hingga 1,20 g mL^{-1}.

Melalui proses pengisian aki (setrum), maka konsentrasi H_2SO_4 dapat dikembalikan seperti semula dan terjadi pembentukan Pb dan PbO_2, dengan reaksi sebagai berikut:

$$2PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \rightarrow Pb(s) + PbO_2(s) + 2H_2SO_4(aq)$$



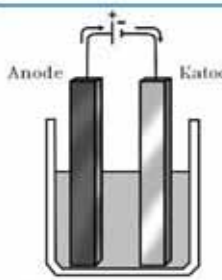
Sumber: *www.all-battery.com*

Gambar 2.16 *Aki dalam mesin kendaraan bermotor yang memiliki potensial sel 12 V*

2. Sel Elektrolisis

Penggunaan aki merupakan reaksi sel Volta, sebaliknya proses pengisian aki merupakan reaksi sel elektrolisis. Dalam sel elektrolisis dapat dihasilkan suatu reaksi kimia dari aliran elektron dalam bentuk arus listrik. Reaksi kimia yang terjadi pada sel elektrolisis adalah reaksi redoks tidak spontan.

Rangkaian sel elektrolisis pertama kali dirancang oleh seorang ilmuwan Inggris, **Michael Faraday**, yang mampu mengalirkan arus listrik dari suatu larutan elektrolit. Pada rancangan dasar sel elektrolisis (Gambar 2.17) katode merupakan kutub negatif, sebaliknya anode merupakan kutub positif (bandingkan dengan sel Volta!).



Gambar 2.17 *Rancangan sederhana sel elektrolisis*

Sel elektrolisis memerlukan energi dari luar agar terjadi reaksi kimia (reaksi tidak spontan), sebaliknya sel Volta tidak memerlukan energi dari luar. Pemberian tanda positif dan negatif elektrode pada sel elektrolisis berdasarkan pada potensial listrik dari luar sistem, sedangkan pada sel Volta berdasarkan nilai potensial reduksi standar kedua elektrode.

Reaksi yang terjadi pada sel elektrolisis tergantung dari bentuk elektrolit dan elektrode yang digunakan. Jadi, reaksi dalam sel elektrolisis dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

a. sel elektrolisis dengan elektrolit lelehan,
b. sel elektrolisis dengan larutan elektrolit dengan elektrode tidak reaktif (inert), dan
c. sel elektrolisis dengan larutan elektrolit dengan elektrode reaktif.

a. Sel Elektrolisis dengan Elektrolit Lelehan

Dalam bentuk lelehan/leburan, ion-ion dalam suatu elektrolit dapat bergerak bebas. Ion negatif (anion) akan bergerak menuju anode, melepaskan elektron, dan mengalami reaksi oksidasi. Ion positif (kation) akan bergerak menuju katode, menerima elektron, dan mengalami reaksi reduksi. Pada umumnya, sel elektrolisis dengan lelehan elektrolit menggunakan elektrode inert (tidak reaktif), yaitu platina (Pt), karbon/grafit (C), dan emas (Au). Elektrode inert tidak terlibat dalam proses redoks (reaksi).

Contoh soal 2.7:

Tulislah reaksi pada sel elektrolisis:
a. lelehan $MgCl_2$ dengan elektrode grafit,
b. leburan Fe_2O_3 dengan elektrode platina!

Penyelesaian:

a. Elektrolisis lelehan $MgCl_2$ dengan elektrode grafit.
Pada elektrolisis lelehan zat elektrolit dengan elektrode inert, kation mengalami reaksi reduksi di katode dan anion mengalami reaksi oksidasi di anode.

$$MgCl_2(l) \rightarrow Mg^{2+}(l) + 2Cl^-(l)$$

Katode : $Mg^{2+}(l) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$

Anode : $2Cl^-(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$

$$MgCl_2(l) \rightarrow Mg(s) + Cl_2(g) \quad +$$

b. Elektrolisis leburan/lelehan Fe_2O_3 dengan elektrode platina

$$Fe_2O_3(l) \rightarrow 2Fe^{3+}(l) + 3O^{2-}(l) \quad \times 2$$

Katode : $\{Fe^{3+}(l) + 3e^- \rightarrow Fe(s)\} \quad \times 4$

Anode : $\{2O^{2-}(l) \rightarrow O_2(g) + 4e^-\} \quad \times 3$

$$2FeO_3(l) \rightarrow 4Fe(s) + 3O_2(g) \quad +$$

b. *Sel Elektrolisis dengan Larutan Elektrolit dan Elektrode Inert*

Pada sel elektrolisis dengan larutan elektrolit (air sebagai pelarut), reaksi yang terjadi pada katode dan anode berdasarkan kompetisi nilai potensial elektrode/reduksi standar spesies (kation, anion, molekul) yang terlibat dalam reaksi redoks (Tabel 2.1).

Elektrode platina (Pt), karbon (C), dan emas (Au) adalah elektrode inert yang tidak terlibat dalam reaksi redoks. Reaksi yang terjadi pada elektrolisis larutan dengan elektrode inert tergantung pada potensial elektrode/reduksi standar spesies yang terlibat dalam redoks.

Contoh soal 2.8:

Tulislah reaksi pada sel elektrolisis:
a. larutan KI dengan elektrode Pt,
b. larutan $CuSO_4$ dengan elektrode grafit, dan
c. larutan NaOH dengan elektrode Pt!

Penyelesaian:

a. Elektrolisis larutan KI dengan elektrode Pt

1) Reaksi pada katode

Dalam larutan KI terdapat ion K^+, ion I^-, dan molekul air. Elektrode Pt tidak terlibat dalam reaksi karena tergolong elektrode inert. Pada katode terjadi kompetisi reduksi ion K^+ dan molekul air (H_2O). Reaksi yang terjadi pada katode adalah spesies yang lebih mudah mengalami reduksi (nilai potensial reduksi standar/E° lebih positif).

$K^+(aq) + e^- \rightarrow K(s)$ $\quad E^\circ = -2{,}931$ V

$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$ $\quad E^\circ = -0{,}828$ V

Nilai potensial reduksi standar H_2O lebih positif daripada ion K^+, sehingga H_2O lebih mudah mengalami reduksi daripada ion K^+. Jadi, pada katode terjadi reduksi H_2O membentuk gas H_2 dan ion OH^-.

2) Reaksi pada anode

Pada anode terjadi kompetisi oksidasi ion I^- dan H_2O. Reaksi yang terjadi pada anode adalah spesies yang lebih mudah mengalami oksidasi (nilai potensial oksidasi lebih positif).

$2I^-(aq) \rightarrow I_2(s) + 2e^-$ $\quad E^\circ = -0{,}535$ V

$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$ $\quad E^\circ = -1{,}229$ V

Nilai potensial oksidasi ion I^- lebih positif daripada potensial oksidasi H_2O, sehingga ion I^- lebih mudah mengalami oksidasi daripada H_2O. Jadi, pada anode terjadi oksidasi ion I^- dan terbentuk iodin (I_2).

Pada elektrolisis larutan KI dengan elektrode Pt terbentuk gas H_2, ion OH^-, dan I_2, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:

$KI(aq) \rightarrow K^+(aq) + I^-(aq)$ $\quad \times 2$

Katode : $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

Anode : $2I^-(aq) \rightarrow I_2(s) + 2e^-$

$2KI(aq) + 2H_2O(l) \rightarrow K^+(aq) + OH^-(aq) + H_2(g) + I_2(s)$ $\quad +$

b. Elektrolisis larutan $CuSO_4$ dengan elektrode grafit

1) *Reaksi pada katode*

Dalam larutan $CuSO_4$ terdapat ion Cu^{2+}, ion SO_4^{2-}, dan molekul air. Elektrode grafit (C) tidak terlibat dalam reaksi karena tergolong elektrode inert. Pada katode terjadi kompetisi reduksi ion Cu^{2+} dan molekul air (H_2O). Reaksi yang terjadi pada katode adalah spesies yang lebih mengalami reduksi (nilai potensial reduksi standar/E° lebih positif).

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ $E^\circ = +0{,}342$ V
$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$ $E^\circ = -0{,}828$ V

Nilai potensial reduksi standar ion Cu^{2+} lebih positif daripada H_2O, sehingga ion Cu^{2+} lebih mudah mengalami reduksi daripada H_2O. Jadi, pada katode terjadi reduksi Cu^{2+} membentuk logam tembaga.

2) Reaksi pada anode

Pada anode terjadi kompetisi ion SO_4^{2-} dan H_2O. Reaksi yang akan terjadi anode adalah spesies yang lebih mudah mengalami oksidasi (nilai potensial oksidasi lebih positif).

$SO_4^{2-}(aq) \rightarrow S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^-$ $E^\circ = -2{,}010$ V
$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$ $E^\circ = -1{,}229$ V

Nilai potensial oksidasi H_2O lebih positif daripada potensial oksidasi ion SO_4^{2-}. Jadi, pada anode terjadi oksidasi H_2O terbentuk gas O_2 dan ion H^+.

Pada elektrolisis larutan $CuSO_4$ dengan elektrode C terbentuk logam tembaga (Cu), gas O_2, dan ion H^+, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:

$CuSO_4(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \times 2$
Katode : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s) \times 2$
Anode : $2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$
$2CuSO_4(aq) + 2H_2O(l) \rightarrow SO_4^{2-}(aq) + 2Cu(s) + O_2(g) +$

c. Elektrolisis larutan NaOH dengan elektrode Pt

1) Reaksi pada katode

Dalam larutan NaOH terdapat ion Na^+, ion OH^-, dan molekul air. Elektrode Pt tidak terlibat dalam reaksi karena tergolong elektrode inert. Pada katode terjadi kompetisi reduksi ion Na^+ dan molekul air (H_2O). Reaksi yang terjadi pada katode adalah spesies yang lebih mudah mengalami reduksi (nilai potensial reduksi standar/E° lebih positif).

$Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$ $E^\circ = -2{,}710$ V
$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + OH^-(aq)$ $E^\circ = -0{,}828$ V

Nilai potensial reduksi standar H_2O lebih positif daripada ion Na^+, sehingga H_2O lebih mudah mengalami reduksi daripada ion Na^+. Jadi, pada katode terjadi reduksi H_2O membentuk gas H_2 dan ion OH^-.

2) Reaksi pada anode

Pada anode terjadi kompetisi oksidasi ion OH^- dan H_2O. Reaksi yang akan terjadi pada anode adalah spesies yang lebih mudah mengalami oksidasi (nilai potensial oksidasi lebih positif).

$4OH^-(aq) \rightarrow O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^-$ $\quad E^\circ = -0{,}401$ V

$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$ $\quad E^\circ = -1{,}229$ V

Nilai potensial oksidasi H_2O lebih positif daripada potensial oksidasi ion OH^-, sehingga H_2O lebih mudah mengalami oksidasi daripada ion OH^-. Jadi, pada anode terjadi oksidasi H_2O terbentuk gas O_2 dan ion H^+.

Pada elektrolisis larutan NaOH dengan elektrode Pt terbentuk gas H_2, gas O_2, ion OH^-, dan ion H^+, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:

$NaOH(aq) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$

Katode : $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$ $\quad \times 2$

Anode : $4OH^-(aq) \rightarrow O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^-$

$+$

$2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$

c. Sel Elektrolisis dengan Larutan Elektrolit dan Elektrode Reaktif

Elektrode yang digunakan adalah elektrode logam. Logam-logam reaktif (golongan transisi) mudah melepaskan elektron dan mengalami oksidasi, sehingga penggunaan logam reaktif (selain Pt, C, dan Au) sebagai elektrode hanya mempengaruhi reaksi oksidasi yang terjadi pada anode. Reaksi pada katode dan anode untuk sel elektrolisis dengan elektrolit larutan dan elektrode reaktif tergantung pada kompetisi potensial elektrode standar dari anion, kation, dan molekul yang terlihat dalam reaksi redoks.

Contoh soal 2.9:

Tulislah reaksi pada sel elektrolisis:

a. larutan KCl dengan elektrode Cu,
b. larutan $CuSO_4$ dengan elektrode Fe, dan
c. larutan K_2SO_4 dengan elektrode Ni!

Penyelesaian:

a. Elektrolisis larutan KCl dengan elektrode Cu

1) Reaksi pada katode

Logam Cu yang digunakan sebagai elektrode tergolong logam reaktif yang lebih mudah mengalami oksidasi. Pada elektrolisis larutan KCl dengan elektrode Cu, spesies yang terlibat dalam reaksi redoks adalah ion K^+, ion Cl^-, molekul air, dan logam Cu. Pada katode terjadi kompetisi reduksi ion K^+ dan molekul air (H_2O). Reaksi yang terjadi pada katode adalah spesies yang lebih mudah mengalami reduksi (nilai potensial reduksi standar/E° lebih positif).

$K^+(aq) + e^- \rightarrow K(s)$ $\quad E^\circ = -2{,}931$ V

$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$ $\quad E^\circ = -0{,}828$ V

Nilai potensial reduksi standar H_2O lebih positif daripada ion K^+, sehingga H_2O lebih mudah mengalami reduksi daripada ion K^+. Jadi, pada katode terjadi reduksi H_2O membentuk gas H_2 dan ion OH^-.

2) Reaksi pada anode

Pada anode terjadi kompetisi oksidasi ion Cl^-, H_2O, dan logam Cu. Reaksi yang terjadi pada anode adalah spesies yang lebih mudah mengalami oksidasi (nilai potensial oksidasi lebih positif).

$Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$ $\quad E^\circ = -0{,}342$ V

$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$ $\quad E^\circ = -1{,}299$ V

$2Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(s) + 2e^-$ $\quad E^\circ = -1{,}358$ V

Nilai potensial oksidasi logam Cu lebih positif daripada potensial oksidasi air dan ion Cl^-, sehingga logam Cu lebih mudah mengalami oksidasi daripada air dan ion Cl^-. Jadi, pada anode terjadi oksidasi logam Cu dan terbentuk ion Cu^{2+}. Pada elektrolisis larutan KCl dengan elektrode Cu terbentuk gas H_2, ion OH^-, dan ion Cu^{2+}, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:

$KCl(aq) \rightarrow K^+(aq) + Cl^-(aq)$

Katode : $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

Anode : $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$

$2H_2O(l) + Cu(s) \rightarrow 2OH^-(aq) + Cu^{2+}(aq) + H_2(g)$ +

b. Elektrolisis larutan $CuSO_4$ dengan elektrode Fe

1) Reaksi pada katode

Logam Fe yang digunakan sebagai elektrode tergolong logam reaktif yang lebih mudah mengalami oksidasi. Pada elektrolisis larutan $CuSO_4$ dengan elektrode Fe, spesies yang terlibat dalam reaksi redoks adalah ion Cu^{2+}, ion SO_4^{2-}, molekul air, dan logam Fe. Pada katode terjadi kompetisi reduksi ion Cu^{2+} dan molekul air (H_2O). Reaksi yang terjadi pada katode adalah spesies yang lebih mudah mengalami reduksi (nilai potensial reduksi standar/E° lebih positif).

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ $\quad E^\circ = +0{,}342$ V

$H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$ $\quad E^\circ = -0{,}828$ V

Nilai potensial reduksi standar ion Cu^{2+} lebih positif daripada H_2O, sehingga ion Cu^{2+} lebih mudah mengalami reduksi daripada H_2O. Jadi, pada katode terjadi reduksi Cu^{2+} membentuk endapan logam Cu.

2) Reaksi pada anode

Pada anode terjadi kompetisi oksidasi ion SO_4^{2-}, H_2O, dan logam Fe. Reaksi yang terjadi pada anode adalah spesies yang lebih mudah mengalami oksidasi (nilai potensial oksidasi lebih positif).

$Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(s) + 2e^-$ $\quad E^\circ = +0{,}447$ V

$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$ $\quad E^\circ = -1{,}229$ V

$SO_4^{2-}(aq) \rightarrow S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^-$ $\quad E^\circ = -2{,}010$ V

Nilai potensial oksidasi logam Fe lebih positif daripada potensial oksidasi air dan ion SO_4^{2-}, sehingga logam Fe lebih mudah mengalami oksidasi daripada air dan ion SO_4^{2-}. Jadi, pada anode terjadi oksidasi logam Fe dan terbentuk ion Fe^{2+}.

Pada elektrolisis larutan $CuSO_4$ dengan elektrode Fe terbentuk endapan logam Cu dan ion Fe^{2+}, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:

$CuSO_4(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

Katode : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

Anode : $Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(s) + 2e^-$

$+$

$Cu^{2+}(aq) + Fe(s) \rightarrow Cu(s) + Fe^{2+}(aq)$

c. Elektrolisis larutan K_2SO_4 dengan elektrode Ni

1) Reaksi pada katode

Logam Ni yang digunakan sebagai elektrode tergolong logam reaktif yang lebih mudah mengalami oksidasi. Pada elektrolisis larutan K_2SO_4 dengan elektrode Ni, spesies yang terlibat dalam reaksi redoks adalah ion K^+, ion SO_4^{2-}, molekul air, dan logam Ni. Pada katode terjadi kompetisi reduksi ion K^+ dan molekul air (H_2O). Reaksi yang terjadi pada katode adalah spesies yang lebih mudah mengalami reduksi (nilai potensial reduksi standar/E° lebih positif).

$K^+(aq) + e^- \rightarrow K(s)$ $\quad E^\circ = -2{,}931$ V

$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$ $\quad E^\circ = -0{,}828$ V

Nilai potensial reduksi standar H_2O lebih positif daripada ion K^+, sehingga H_2O lebih mudah mengalami reduksi daripada ion K^+. Jadi, pada katode terjadi reduksi H_2O membentuk gas H_2 dan ion OH^-.

2) Reaksi pada anode

Pada anode terjadi kompetisi oksidasi ion SO_4^{2-}, H_2O, dan logam Ni. Reaksi yang terjadi pada anode adalah spesies yang lebih mudah mengalami oksidasi (nilai potensial oksidasi lebih positif).

$Ni(s) \rightarrow Ni^{2+}(s) + 2e^-$ $\quad E^\circ = +0{,}257$ V

$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$ $\quad E^\circ = -1{,}299$ V

$SO_4^{2-}(aq) \rightarrow S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^-$ $\quad E^\circ = -2{,}010$ V

Nilai potensial oksidasi logam Ni lebih positif daripada potensial oksidasi air dan ion SO_4^{2-}, sehingga logam Ni lebih mudah mengalami oksidasi daripada air dan ion SO_4^{2-}. Jadi, pada anode terjadi oksidasi logam Ni dan terbentuk ion Ni^{2+}.

Pada elektrolisis larutan K_2SO_4 dengan elektrode Ni terbentuk gas H_2, ion OH^-, dan ion Ni^{2+}, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:

$K_2SO_4(aq) \rightarrow 2K^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

Katode : $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

Anode : $Ni(s) \rightarrow Ni^{2+}(s) + 2e^-$

$+$

$2H_2O(l) + Ni(s) \rightarrow H_2(g) + Ni^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$

Berdasarkan contoh-contoh soal di atas, diperoleh kesimpulan tentang reaksi-reaksi yang terjadi pada katode dan anode dalam sel elektrolisis dengan larutan elektrolit adalah sebagai berikut.

a. Reaksi pada Katode

Pada katode terjadi reaksi reduksi. Semakin besar nilai potensial elektrode standar (E°), maka semakin mudah mengalami reaksi reduksi. Larutan elektrolit dengan kation logam transisi (Zn, Ni, Pb, Cu, Ag, Sn), maka kation logam transisi tersebut yang akan tereduksi karena kation logam transisi memiliki E° yang lebih besar daripada air. Kation-kation logam ini akan tereduksi sebagai berikut.

$$L^{x+}(aq) + xe^- \rightarrow L(s)$$

Untuk larutan elektrolit dengan kation logam utama, Al, atau Mn, kation-kation ini lebih sukar tereduksi daripada air. Jadi, pada katode terjadi reaksi reduksi H_2O sebagai berikut.

$$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$$

b. Reaksi pada Anode

Pada sel elektrolisis dengan elektrode inert (Pt, C, dan Au), maka reaksi yang akan terjadi pada anode adalah spesies yang memiliki potensial oksidasi lebih positif (lebih mudah mengalami oksidasi). Larutan elektrolit yang terdiri atas anion yang tidak mengandung oksigen (Cl^-, Br^-, F^-, I^-) dan memiliki potensial oksidasi yang lebih positif daripada air, maka pada anode akan terjadi oksidasi anion-anion ini, misal:

$$2Br^-(aq) \rightarrow Br_2(aq) + 2e^-$$

Demikian juga, apabila pada larutan elektrolit yang digunakan mengandung ion OH^-, maka ion OH^- akan teroksidasi sebagai berikut.

$$4OH^-(aq) \rightarrow 2H_2O(l) + O_2(g) + 4e^-$$

Pada larutan elektrolit yang terdiri atas anion yang mengandung oksigen, misalnya SO_4^{2-}, NO_3^-, maka reaksi yang terjadi pada anode adalah oksidasi H_2O. Hal ini terjadi karena potensial oksidasi H_2O lebih positif daripada potensial oksidasi anion yang mengandung oksigen. Reaksi oksidasi H_2O sebagai berikut.

$$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$$

Reaksi yang terjadi pada anode pada sel elektrolisis yang menggunakan logam-logam reaktif (golongan transisi) sebagai elektrode adalah oksidasi logam elektrode tersebut. Mengapa demikian? Logam-logam reaktif memiliki potensial oksidasi yang lebih positif daripada air. Reaksi yang terjadi pada anode dengan elektrode reaktif sebagai berikut:

$$L(s) \rightarrow L^{x+}(aq) + xe^-$$

Kerjakan tugas ini untuk mengetahui pemahaman materi kalian!

Tugas 2.6

Tulislah reaksi elektrolisis pada sel elektrolisis berikut:
a. lelehan Al_2O_3 dengan elektrode grafit,
b. larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan elektrode platina,
c. larutan NaCl dengan elektrode grafit,
d. larutan HNO_3 dengan elektrode besi, dan
e. larutan $PbSO_4$ dengan elektrode seng!

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **kreativitas,** mengembangkan **kecakapan sosial,** dan **vokasional** kalian!

Kegiatan 2.3

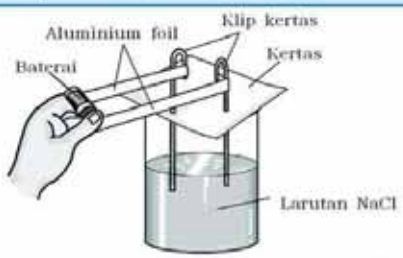
Tujuan:
1. Merancang sel elektrolisis air sederhana.
2. Memahami proses elektrolisis air.

Alat:
1. Gelas kimia
2. Lempeng *aluminium foil*
3. Baterai 1,5 V
4. Kertas karton (10 × 10 cm)
5. Klip kertas logam
6. Pengaduk

Bahan:
1. NaCl padatan
2. Air suling

Cara Kerja:
1. Isi gelas kimia dengan air suling hingga ketinggian 2 cm dari atas.
2. Tambahkan 1 gram NaCl padatan ke dalam gelas dan aduk hingga merata.
3. Letakkan kertas karton di atas gelas yang berisi larutan NaCl.
4. Luruskan salah satu ujung pada kedua klip kertas.
5. Tancapkan kedua klip yang telah diluruskan tersebut pada kertas karton dengan jarak 2,5 cm.
6. Bungkus masing-masing klip dengan *aluminium foil.*
7. Pegang ujung kedua strip *aluminium foil* dan hubungkan dengan baterai.

8. Amati perubahan yang terjadi pada ujung kedua klip yang tercelup dalam air.
9. Lakukan kegiatan tersebut secara berkelompok.



Gambar 2.18 *Rancangan sederhana sel elektrolisis air*

Hasil pengamatan:

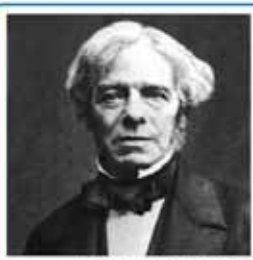
Perubahan yang terjadi pada kedua ujung klip adalah . . . .

Pertanyaan:

1. Tuliskan persamaan elektrolisis air yang terjadi!
2. Tentukan ujung klip mana yang berfungsi sebagai katode (kutub negatif) dan anode (kutub positif)!
3. Jelaskan produk yang dihasilkan pada katode dan anode!
4. Jelaskan peranan natrium klorida dalam proses elektrolisis air tersebut! Diskusikan dengan teman kalian!

C. Hukum Faraday

Pada tahun 1834, **Michael Faraday** mempelajari proses reaksi dalam sel elektrokimia, khususnya dalam sel elektrolisis. Faraday mengemukakan pernyataan yang menjadi hukum dasar dalam elektrokimia, beliau menemukan hubungan antara arus listrik dan massa yang dihasilkan dan dinyatakan dalam **Hukum I Faraday** dan **Hukum II Faraday**.



Sumber: *Jendela Iptek 4*

Gambar 2.19 *Michael Faraday*

1. Hukum I Faraday

Hukum ini menyatakan bahwa *massa yang dihasilkan pada sel elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik dalam sel.*

$$w \propto Q$$

dengan, w = massa yang dihasilkan pada elektrolisis (gram)
Q = muatan listrik dalam sel (coulomb)

Jumlah muatan listrik dalam sel merupakan hasil kali antara kuat arus (i) yang dialirkan dalam sel dan waktu elektrolisis (t).

$$Q = i \times t$$

Jadi, hukum I Faraday dapat dinyatakan:

$$w \propto i \times t$$

Contoh soal 2.10:

Dalam suatu sel elektrolisis larutan $CuSO_4$ dengan arus listrik sebesar 1,5 A selama 2 jam. Tentukan massa tembaga yang diendapkan!

Penyelesaian:

Pada katode terjadi reaksi reduksi ion Cu^{2+} menjadi Cu dengan "setengah reaksi" sebagai berikut:

Katode : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

Dari "setengah reaksi" di atas diketahui:
1 mol Cu $\propto$ 2 mol e^-
1 mol Cu $\propto$ 2F, karena 1F = 1 mol e^-

$$= 6{,}02217 \times 10^{23}\ e^-$$
$$= 6{,}02217 \times 10^{23}\ e^- \times 1{,}60218 \times 10^{-19}\ C\ e^{-1}$$
$$= 96486{,}00331\ C$$
$$= 96500\ C$$

Jadi, 1 mol Cu $\propto$ 2 $\times$ 96500 C

$$1\ C = \left\{ \frac{1\ mol\ Cu}{2 \times 96500\ C} \times A_r\ Cu\ g\ mol^{-1} \right\} g$$

Arus listrik sebesar 1,5 A yang dialirkan ke dalam sel elektrolisis selama 2 jam menghasilkan massa Cu sebanyak:

$$\text{massa Cu} = \frac{1\ mol\ Cu}{2 \times 96500\ C} \times A_r\ Cu \times i \times t$$
$$= \frac{1\ mol\ Cu}{2 \times 96500\ C} \times 63{,}4\ g\ mol^{-1} \times 1{,}5\ A \times 2 \times 3600\ \text{detik} = 3{,}55\ g$$

Jadi, massa Cu yang dihasilkan pada katode sebanyak 3,55 gram.

Melalui penyelesaian tersebut diperoleh rumus untuk menentukan massa yang dihasilkan dalam suatu sel elektrolisis, adalah:

Misal e = massa ekuivalen = $\frac{A_r}{x}$, dengan x = jumlah elektron yang diterima atau dilepas dan F = 96500 C.
Maka diperoleh,

$$w = \frac{e \times i \times t}{F} \quad \text{atau} \quad w = \frac{A_r \times i \times t}{x \times F}$$

2. Hukum II Faraday

Berdasarkan hukum I Faraday diperoleh bahwa *massa yang dihasilkan dalam sel elektrolisis* (w) *sebanding dengan massa ekuivalen zat tersebut* (e).

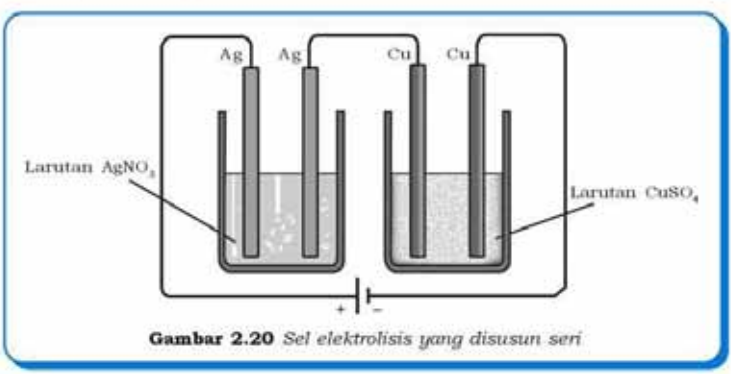
$w \propto e$

Misal pada dua sel elektrolisis yang disusun seri memiliki jumlah arus yang sama pada masing-masing larutan sebesar i ampere selama t detik, maka jumlah zat yang dihasilkan pada tiap sel adalah:

$$w_1 : w_2 = e_1 : e_2$$

Misalnya pada kedua sel elektrolisis (Gambar 2.20) dialirkan arus sebesar i ampere selama t detik, maka akan dihasilkan endapan Ag dan Cu pada katode. Berdasarkan hukum II Faraday, perbandingan massa Ag dan Cu yang dihasilkan sebanding dengan massa ekuivalen masing-masing zat.

$w_{Cu} : w_{Ag} = e_{Cu} : e_{Ag}$



Gambar 2.20 *Sel elektrolisis yang disusun seri*

Contoh soal 2.11:

Berapa gram tembaga yang dihasilkan pada katode jika arus listrik sebesar 6 ampere dialirkan ke dalam larutan $CuSO_4$ selama 1 jam?

Penyelesaian:

Reaksi pada katode: $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

Ion Cu^{2+} menerima 2 elektron sehingga nilai $x = 2$

$$w = \frac{A_r \times i \times t}{x \times F}$$

$$= \frac{1\ \text{mol} \times 63{,}5\ \text{g mol}^{-1} \times 6\ \text{A} \times 3600\ \text{s}}{2 \times 96500\ \text{C}} = 7{,}11\ \text{gram}$$

Jadi logam tembaga yang dihasilkan sebanyak 7,11 gram.

Contoh soal 2.12:

Suatu sel elektrolisis terdiri atas larutan NaCl dengan elektrode Ni dan dialiri arus listrik yang setara dengan 0,1 Faraday. Berapa volume gas hidrogen yang dihasilkan pada katode pada keadaan standar?

Penyelesaian:

$$w = \frac{A_r \times i \times t}{x \times F}$$

Jumlah arus (Faraday) = $\mathbf{F} = \frac{i \times t}{F}$

Penggabungan 2 persamaan di atas diperoleh:

$$w = \frac{A_r}{x} \times \mathbf{F}$$

$$\frac{w}{A_r} = \frac{1}{x} \times \mathbf{F}, \text{ dengan } \frac{w}{A_r} = n = \text{jumlah mol}$$

$$n = \frac{1}{x} \times \mathbf{F}$$

Larutan NaCl terdiri atas kation Na^+ (golongan utama), sehingga pada katode terjadi reaksi reduksi H_2O.

Katode: $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow 2OH^-(aq) + H_2(g)$

Pada reaksi di atas H_2O menerima 2 elektron ($x = 2$)

$$n = \frac{1}{x} \times \mathbf{F}$$

$$n = \frac{1}{2} \times 0{,}1 = 0{,}05\ \text{mol}$$

pada keadaan standar,

$V_{H_2} = n \times V_m$

$= 0{,}05 \text{ mol} \times 22{,}4 \text{ L mol}^{-1}$

$= 1{,}12 \text{ L}$

Jadi, pada katode dihasilkan gas hidrogen sebanyak 1,12 L.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 2.7

1. Hitunglah massa perak yang dihasilkan dalam larutan $AgNO_3$ setelah dialiri arus 10 ampere selama 1 menit!
2. Dalam larutan $CuSO_4$ dialirkan arus listrik sejumlah 150 coulomb. Tentukan massa tembaga yang diendapkan!
3. Arus listrik dengan jumlah sama dialirkan pada dua buah sel elektrolisis yang dihubungkan seri. Sel elektrolisis pertama berisi larutan $AgNO_3$ dan sel elektrolisis kedua berisi larutan $CuCl_2$. Setelah reaksi berlangsung 2 jam diperoleh 2 gram perak dalam sel elektrolisis pertama. Berapa massa tembaga yang dihasilkan dalam sel elektrolisis kedua? Diketahui A_r Ag = 108 dan A_r Cu = 65,5.
4. Pada lelehan NaCl dialiri arus listrik sehingga pada katode diperoleh endapan natrium sebanyak 1,15 gram. Tentukan volume gas klorin yang dihasilkan pada anode dalam keadaan standar! Diketahui A_r Na = 23 dan A_r Cl = 35,5.
5. Pada elektrolisis $AgNO_3$ dengan elektroda grafit, pada anode dihasilkan gas oksigen dengan reaksi:

   $$2H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + O_2(g) + 4e^-$$

   Jika diharapkan memperoleh 5,6 L gas oksigen, tentukan jumlah arus (Faraday) yang dialirkan pada larutan!

D. Aplikasi Sel Elektrolisis

Proses elektrokimia dalam sel elektrolisis sangat dibutuhkan dalam bidang industri, khususnya dalam pembuatan zat kimia, pemurnian logam, dan penyepuhan logam.

1. Produksi Zat Kimia

Beberapa zat kimia dapat diperoleh melalui proses elektrokimia dalam sel elektrolisis, sehingga beberapa sel elektrolisis banyak digunakan dalam industri kimia.

a. *Produksi Gas Oksigen dan Gas Hidrogen*

Dalam reaksi sel elektrolisis, gas oksigen dapat diperoleh dengan reaksi oksidasi H_2O dan gas hidrogen melalui reaksi reduksi H_2O. Reaksi oksidasi H_2O terjadi pada anion yang mengandung oksigen, seperti. NO_3^-, CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, dan reaksi reduksi H_2O terjadi pada kation yang berasal dari unsur golongan utama. Jadi gas oksigen dan gas hidrogen dapat terbentuk melalui reaksi elektrolisis pada senyawa yang mengandung kation unsur golongan utama dan anion yang mengandung oksigen dengan elektrode inert. Reaksi elektrolisis yang menghasilkan gas oksigen dan hidrogen, misalnya elektrolisis larutan KOH dengan elektrode karbon melalui reaksi:

$$\ldots\ldots(aq) \rightarrow K^+(aq) + OH^-(aq)$$
$$\text{Katode} : 2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow 2OH^-(aq) + H_2(g)$$
$$\text{Anode} : 2H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + O_2(g) + 4e^-$$

Pada reaksi elektrolisis larutan elektrolit yang digunakan, yaitu KOH berfungsi sebagai penghantar listrik dan air merupakan zat pereaksi utama pada katode dan anode.

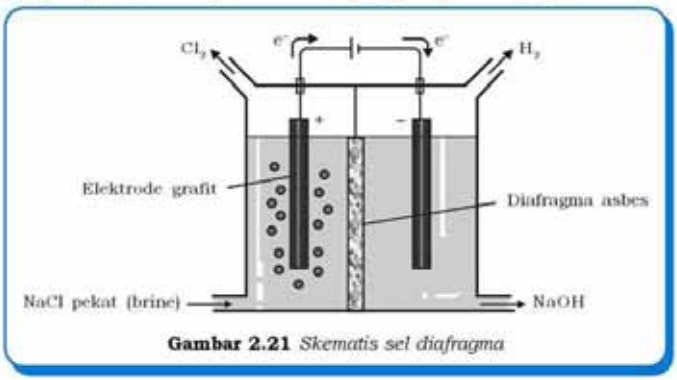
b. *Produksi Gas Klorin*

Klorin merupakan bahan industri utama yang diproduksi melalui elektrolisis larutan garam pekat, NaCl yang disebut "*brine*". Reaksi elektrolisis *brine*, sebagai berikut:

$$NaCl(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$$
$$\text{Katode} : 2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow 2OH^-(aq) + H_2(g)$$
$$\text{Anode} : 2Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$$

Ion OH^- yang terbentuk pada katode bergabung dengan ion Na^+ hasil disosiasi NaCl membentuk NaOH.

Metode elektrolisis yang digunakan dalam industri gas klorin menggunakan **sel diafragma** yang mampu menghasilkan NaOH sebagai produk utama dan produk sampingan yaitu Cl_2 dan H_2. Ruang katode dan anode dalam sel diafragma (Gambar 2.21) dipisahkan oleh diafragma berupa selaput berpori yang hanya dapat dilewati oleh ion-ion tertentu dalam larutan. Produk elektrolisis dengan sel diafragma menghasilkan 50% NaOH dengan 1% NaCl sebagai pengotor, dan produk sampingan gas hidrogen dan klorin.



Gambar 2.21 *Skematis sel diafragma*

Metode elektrolisis lain yang digunakan untuk menghasilkan NaOH murni adalah proses **sel merkuri** dengan bahan dasar *brine* dan merkuri/raksa. Akan tetapi proses industri ini sangat berbahaya bagi lingkungan khususnya dalam hal pencemaran oleh raksa.

c. *Produksi Logam Aluminium*

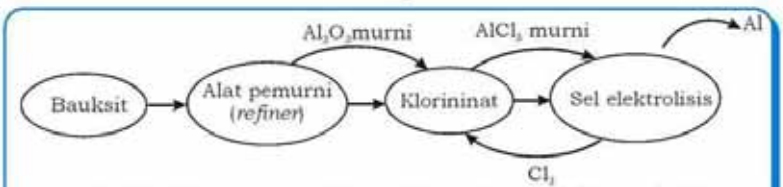
Produksi logam dalam proses elektrolisis pada umumnya dalam bentuk lelehannya. Bahan mentah untuk produksi logam aluminium adalah *bauksit*, yaitu mineral aluminium terhidrat, misalnya $Al_2O_3.H_2O$ dan $Al_2O_3.3H_2O$. Proses elektrolisis yang digunakan untuk memperoleh logam murni dari mineralnya disebut *elektrometalurgi*.

Pengolahan bauksit pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan Amerika, **Charles Hall** pada tahun 1886. Proses produksinya dengan cara melarutkan Al_2O_3 ke dalam garam kriolit, Na_3AlF_6 pada sel elektrolisis dengan elektrode karbon. Reaksi yang terjadi dalam *proses Hall*, sebagai berikut:

$$Al_2O_3 \rightarrow 2Al^{3+} + 3O^{2-}$$
Katode : $Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$
Anode : $2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$

Proses produksi aluminium lainnya yaitu *proses peleburan Alcoa*, ditemukan oleh Alcoa pada tahun 1976 (Gambar 2.22). Proses peleburan Alcoa berdasarkan proses elektrolisis lelehan aluminium klorida, dengan reaksi:

$$AlCl_3 \rightarrow Al^{3+} + 3Cl^-$$
Katode : $Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$
Anode : $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$



Gambar 2.22 *Skema proses peleburan Alcoa pada produksi logam aluminium*

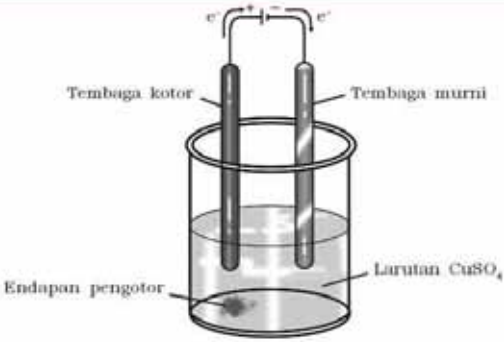
2. Pemurnian Logam

Proses pemurnian logam (*refining*) banyak digunakan dalam industri, misalnya pemurnian logam tembaga. Penggunaan logam tembaga sebagai konduktor, misalnya pada kabel listrik perlu memperhatikan kemurnian tembaga yang digunakan, semakin murni semakin tinggi konduktivitas.

Pengotor yang terdapat pada tembaga antara lain besi, seng, platina, perak, dan emas. Pada pemurnian tembaga dengan elektrolisis, katode berupa tembaga kotor dan anode berupa tembaga murni. Larutan elektrolit yang digunakan mengandung kation logam yang akan dimurnikan, dalam hal ini misalnya $CuSO_4$. Reaksi yang terjadi:

$$CuSO_4(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$
Katode : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$
Anode : $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$

Logam tembaga kotor pada anode mengalami reaksi oksidasi menjadi ion Cu^{2+} yang terlarut dalam $CuSO_4$ dan mengalami reaksi reduksi menjadi logam tembaga kemudian mengendap pada katode sebagai tembaga murni (Gambar 2.23).



Gambar 2.23 *Sel elektrolisis pemurnian tembaga*

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses ini adalah pengaturan tegangan yang tepat selama elektrolisis agar platina, perak, dan emas tidak larut, melainkan mengendap. Pengotor lainnya yaitu besi dan seng yang memiliki potensial elektrode standar (E^o) lebih negatif daripada tembaga dan larut sebagai ion Fe^{2+} dan Zn^{2+} akan mengalami reduksi dan menghasilkan endapan di katode.

3. Penyepuhan Logam

Penyepuhan logam (*electroplating*) banyak digunakan untuk melindungi barang-barang logam terhadap korosi (karat) dan memperindah penampilan. Misalnya melapisi alat makan, seperti sendok atau teko teh dengan perak agar nampak lebih menarik, melapisi mesin kendaraan bermotor yang terbuat dari baja dengan kromium dan melapisi kerangka sepeda dengan titanium oksida agar terhindar dari korosi.

Proses penyepuhan logam dengan cara elektrolisis, yaitu menempatkan logam yang akan disepuh sebagai katode dan logam penyepuh sebagai anode. Elektrolit yang digunakan mengandung kation logam penyepuh. Misalnya kalian ingin menyepuh kunci dengan tembaga, maka kunci berfungsi sebagai katode dan logam tembaga (Cu) sebagai anode. Elektrolit yang digunakan mengandung ion Cu^{2+}, misalnya $CuSO_4$.

Reaksi yang berlangsung pada penyepuhan logam, adalah:

a. Reaksi pada Katode

Pada katode terjadi kompetisi reduksi ion Cu^{2+} dan molekul air (H_2O). Reaksi yang terjadi pada katode adalah spesies yang lebih mudah mengalami reduksi (nilai potensial reduksi standar/E° lebih positif).

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ $\quad E^\circ = +0{,}337$ V

$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$ $\quad E^\circ = -0{,}828$ V

Nilai potensial reduksi standar ion Cu^{2+} lebih positif daripada H_2O, sehingga ion Cu^{2+} lebih mudah mengalami reduksi daripada H_2O. Jadi, pada katode terjadi reduksi Cu^{2+} membentuk endapan logam Cu.

b. Reaksi pada Anode

Pada katode terjadi kompetisi oksidasi ion SO_4^{2-}, H_2O, dan logam Cu sebagai elektrode. Reaksi yang terjadi pada anode adalah spesies yang lebih mudah mengalami oksidasi (nilai potensial oksidasi lebih positif).

$Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$ $\quad E^\circ = -0{,}342$ V

$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$ $\quad E^\circ = -1{,}229$ V

$SO_4^{2-}(aq) \rightarrow S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^-$ $\quad E^\circ = -2{,}010$ V

Nilai potensial oksidasi logam Cu lebih positif daripada potensial oksidasi air dan ion SO_4^{2-}, sehingga logam Cu lebih mudah mengalami oksidasi daripada air dan SO_4^{2-}. Jadi, pada anode terjadi oksidasi logam Cu dan terbentuk ion Cu^{2+}.

Pada elektrolisis larutan $CuSO_4$ dengan elektrode Cu terbentuk endapan logam Cu pada anode dan katode, dengan reaksi sebagai berikut:

$CuSO_4(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

Katode : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

Anode : $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$

$Cu(s) \rightarrow Cu(s)$

(anode) (katode)

Logam tembaga mengalami reaksi oksidasi menjadi ion Cu^{2+} dan bergerak menggantikan ion Cu^{2+} yang telah direduksi pada katode. Ion Cu^{2+} tersebut akan direduksi menjadi logam tembaga yang melapisi kunci. Proses penyepuhan logam dengan cara ini menghasilkan lapisan tipis tembaga pada kunci.

Setelah mempelajari proses penyepuhan logam, kalian dapat mengubah barang yang tidak berharga di sekitar kalian menjadi barang yang mempunyai **nilai tambah**. Carilah produk-produk hasil peyepuhan logam di sekitar kalian! Coba praktikkan penyepuhan kunci dari besi dengan logam tembaga atau kromium!

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual** dan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 2.8

1. Bagaimana proses produksi logam alkali, misalnya natrium dengan cara elektrolisis?
2. Jelaskan proses pemurnian nikel kotor dengan cara elektrolisis dan tentukan:
   a. jenis elektrode dan larutan elektrolit yang digunakan,
   b. setengah reaksi yang terjadi pada masing-masing elektrode, dan
   c. skema sel elektrolisis!
3. Flourin (F_2) diperoleh dengan cara elektrolisis larutan hidrogen flourida (HF) dalam kalium flourida (KF). Dalam proses elektrolisis tersebut, tentukan:
   a. alasan penggunaan KF dalam elektrolisis,
   b. tuliskan setengah reaksi pada masing-masing elektroda, dan
   c. tuliskan reaksi total yang terjadi!
4. Apabila kalian akan melapisi sendok dengan perak dengan cara elektrolisis, tentukan:
   a. rancangan sel elektrolisis,
   b. reaksi redoks yang terjadi!

E. Korosi

Korosi adalah bentuk kerusakan logam yang disebabkan oleh proses elektrokimia. Hasil dari korosi adalah karat. Coba perhatikan barang logam yang terdapat di sekitar kalian, apakah ada yang berkarat? Korosi yang umumnya terjadi adalah pengkaratan besi. Karat berupa lapisan tipis yang berwarna cokelat kemerahan pada permukaan logam besi. Contoh: karat yang terjadi pada pagar besi

dengan lapisan cat yang telah terkelupas (Gambar 2.24), atau kerangka sepeda yang sudah tidak memiliki lapisan pelindung. Proses timbulnya karat semakin cepat terjadi jika logam tersebut ditempatkan pada lingkungan yang memiliki kelembapan udara tinggi atau sering terkena air hujan.



Sumber: *www.xtreme.hawaii.edu*

Gambar 2.24 *Pagar yang catnya terkelupas mudah berkarat*

Pengkaratan terjadi apabila ada kontak langsung antara logam dengan oksigen dan air. Besi merupakan logam yang paling mudah mengalami korosi, nilai E°_{Fe} sebesar –0,44 volt semakin mempercepat reaksi oksidasi besi yang menghasilkan karat. Reaksi korosi logam besi dalam udara lembap, sebagai berikut:

Anode : $\{Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^{-}\} \times 2$

Katode : $O_2(g) + 4H^{+}(aq) + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O(l)$

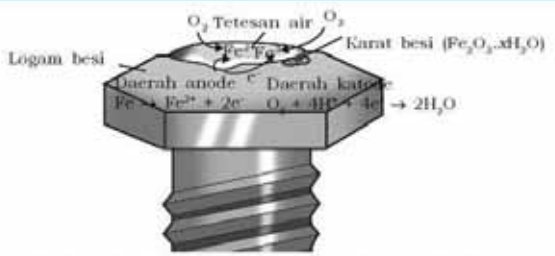
$$2Fe(s) + O_2(g) + 4H^{+}(aq) \rightarrow 2Fe^{2+}(aq) + 2H_2O(l)$$

Apabila korosi terjadi pada suasana basa, maka reaksi yang terjadi pada katode adalah:

$$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}(aq)$$

Pada suasana asam, ion H^{+} dapat diperoleh dari reaksi antara karbon dioksida dengan air membentuk H_2CO_3. Ion Fe^{2+} yang terbentuk pada anode teroksidasi lebih lanjut oleh oksigen membentuk besi(III) oksida, dengan reaksi:

$$4Fe^{2+}(aq) + O_2(g) + (4+2x)H_2O(l) \rightarrow 2Fe_2O_3 . xH_2O(s) + 8H^{+}(aq)$$



Gambar 2.25 *Proses korosi besi pada udara lembap*

Hidrat besi(III) oksida yang telah terbentuk disebut karat dengan jumlah air (x) yang bergabung dengan besi(III) oksida bervariasi. Proses elektrokimia dalam pembentukan karat pada logam besi (Gambar 2.25), sebagai berikut:

1. Logam besi mengalami kontak dengan udara dan mengalami oksidasi menjadi ion Fe^{2+} dan larut dalam air pada lapisan besi. Daerah tempat oksidasi logam Fe disebut *daerah anode*.
2. Ion Fe^{2+} bergerak menuju katode dalam tetesan air dan elektron yang dibebaskan oleh logam besi yang teroksidasi bergerak menuju katode melalui logam.
3. Oksigen dalam udara mengalami reaksi reduksi dengan menangkap elektron yang dibebaskan oleh logam besi membentuk H_2O. Daerah tempat terjadinya reaksi reduksi oksigen disebut *daerah katode*.
4. Sebagian oksigen larut dalam air dan mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} membentuk hidrat besi(III) oksida, $Fe_2O_3.xH_2O$ (karat).

1. Dampak Korosi

Korosi menimbulkan banyak kerusakan, terutama pada bangunan dan benda-benda yang terbuat dari besi. Mengapa hal tersebut dapat terjadi? Korosi merupakan reaksi yang cepat terjadi dan berlangsung terus-menerus, karena besi(III) oksida bersifat *porous* (mudah ditembus oleh oksigen dan air). Sifat *porous* pada besi dapat mempercepat proses pengkaratan selanjutnya sehingga bangunan atau benda-benda yang telah berkarat semakin rapuh. Misalnya rapuhnya kontruksi bangunan, jembatan, kapal, dan pesawat dapat mengakibatkan kerugian yang besar (Gambar 2.26).



Sumber: *www.tempointeraktif.com*

Gambar 2.26 *Kecelakaan pesawat bisa disebabkan oleh korosi*

Karat yang dihasilkan dari korosi besi semakin berbahaya karena mudah larut dan bersifat racun. Hal tersebut sangat berbahaya bagi industri makanan, obat-obatan, dan zat kimia yang menggunakan peralatan industri yang terbuat dari besi.

2. Pencegahan Korosi

Pencegahan korosi dapat menghindari kerugian yang ditimbulkan oleh korosi. Prinsip dasar pencegahan korosi, yaitu:

a. Penggunaan Logam Pelapis

Prinsip dasar cara ini adalah menghindari reaksi antara besi dengan oksigen dan air. Logam pelapis yang biasa digunakan sebagai pelindung korosi pada pembuatan kaleng, misalnya timah, tembaga, atau platina. Pada cara ini, logam pelapis yang akan digunakan memiliki potensial elektrode standar lebih positif daripada yang dilapisi. Timah (E° = –0,14 V), dapat digunakan sebagai logam pelapis pada besi (E° = –0,44 V) karena timah merupakan logam yang tidak mudah teroksidasi sehingga besi akan terhindar dari korosi. Logam pelapis digunakan untuk pelindung korosi pada makanan kaleng (Gambar 2.27).



Sumber: *www.kompas.com*

Gambar 2.27 *Logam pelapis digunakan untuk pelindung korosi pada makanan dalam kaleng*

Kelemahan dari cara perlindungan korosi ini adalah apabila logam pelapis sudah rusak, maka korosi pada besi semakin cepat terjadi. Hal tersebut disebabkan oleh terbentuknya sel elektrokimia dengan besi sebagai anode dan logam pelapis sebagai katode, yang akan menghasilkan karat besi.

b. Perlindungan Katode

Prinsip dasar perlindungan besi dari korosi yaitu dengan cara menghubungkan besi dengan logam lain yang lebih mudah dioksidasi atau logam yang memiliki potensial elektrode standar lebih kecil daripada besi. Misalnya logam besi yang dihubungkan dengan logam magnesium akan lebih sukar mengalami korosi. Hal ini disebabkan magnesium (E° = –2,37 V) lebih mudah dioksidasi daripada besi (E° = –0,44 V). Magnesium akan berfungsi sebagai

anode dan mengalami reaksi oksidasi dengan oksigen, sehingga besi yang berfungsi sebagai katode akan terlindungi dari korosi. Cara ini disebut dengan *perlindungan katode*.

Penggunaan logam yang lebih mudah dioksidasi pada besi lebih banyak menguntungkan. Misalnya penggunaan aluminium (E° = –1,66 V) untuk melapisi besi (E° = –0,44 V) akan melindungi besi dari korosi. Mengapa demikian? Logam aluminium yang memiliki potensial elektrode lebih negatif akan mudah bereaksi dengan oksigen dan air, kemudian menghasilkan lapisan Al_2O_3 yang tidak bersifat *porous* sehingga melindungi besi dari korosi.

Cara perlindungan katode banyak digunakan untuk melindungi pipa bawah tanah, yang sebagian besar menggunakan magnesium untuk keperluan tersebut.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **etos kerja, berpikir kritis,** dan mengembangkan **kecakapan sosial** kalian!

Kegiatan 2.4

Korosi

Korosi menyebabkan terjadinya karat besi. Peristiwa tersebut dapat terlihat pada barang-barang yang terbuat dari besi, misalnya paku yang berwarna cokelat kemerahan dari karat besi. Pada percobaan berikut ini kita dapat menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi timbulnya karat. Lakukan percobaan berikut secara berkelompok.

Siapkan tiga gulung sabut baja berukuran sama, biasanya digunakan untuk mencuci piring. Letakkan setiap sabut pada mangkuk plastik yang telah diberi nomor 1, 2, dan 3. Berikan perlakuan sebagai berikut:

1. Basahi sabut baja pada wadah nomor 1 dengan air.
2. Basahi sabut baja pada wadah nomor 2 dengan cuka.
3. Biarkan sabut baja pada wadah nomor 3 tetap kering.

Apabila di daerah kalian mengalami musim hujan, kalian dapat menambahkan sabut keempat yang direndam pada air hujan.

Biarkan wadah berisi sabut-sabut dalam keadaan terbuka, kemudian amati perubahan yang terjadi setelah tiga hari. Bandingkan perubahan yang terjadi pada sabut baja 1, 2, dan 3! Mengapa hal tersebut dapat terjadi? Diskusikan dengan teman kalian!

Rangkuman

1. Autoredoks adalah zat yang mengalami reaksi oksidasi dan reduksi secara bersamaan.
2. Sel Volta terjadi perubahan reaksi kimia menjadi arus listrik. Katode merupakan kutub positif dan terjadi reaksi reduksi. Anode merupakan kutub negatif dan terjadi reaksi oksidasi. Contoh: baterai, aki, dan sel bahan bakar.
3. Sel elektrolisis yaitu sel reaksi redoks yang memerlukan energi listrik agar terjadi reaksi kimia. Katode merupakan kutub negatif dan terjadi reduksi. Anode merupakan kutub positif dan terjadi reaksi oksidasi. Contoh: pengisian aki, penyepuhan logam, dan pemurnian logam.
4. Potensial sel/emf $(E_{sel}) = E^{\circ}_{katode} - E^{\circ}_{anode}$
   E°_{sel} bernilai positif terjadi reaksi redoks spontan, sebaliknya E°_{sel} bernilai negatif tidak terjadi reaksi redoks.
5. Hukum Faraday menyatakan:
   a. Massa yang dihasilkan pada sel elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik dalam sel.
   b. Massa zat yang dihasilkan dalam elektrolisis berbanding lurus dengan massa ekuivalen zat tersebut.

   Dirumuskan $w = \frac{e \times i \times t}{F}$
6. Reaksi sel elektrolisis
   a. Katode
      1) Kation merupakan logam aktif (golongan IA, IIA, Al, dan Mn), maka terjadi reaksi reduksi H_2O.
         $H_2O + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$
      2) Kation lain yang tereduksi
         $L^{x+}(aq) + xe^- \rightarrow L(s)$
   b. Anode
      1) Elektroda inert (Pt, C, Au), maka reaksi yang terjadi:
         a) Sisa asam oksigen terjadi reaksi oksidasi H_2O
            $H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + O_2 + 4e^-$

b) Anion lain yang teroksidasi, misalnya:

$$2Cl^-(aq) + 2e^- \rightarrow Cl_2(g)$$

2) Elektroda tidak inert (reaktif), maka logam elektroda mengalami reaksi oksidasi

$$L(s) \rightarrow L^{x+}(aq) + xe^-$$

Uji Kompetensi

Kerjakan di buku tugas kalian!

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

1. Di antara reaksi-reaksi di bawah ini yang **tidak** termasuk reaksi redoks adalah . . . .
   A. $SnCl_2(aq) + I_2(aq) + 2HCl(aq) \rightarrow SnCl_4(aq) + 2HI(aq)$
   B. $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$
   C. $CaO(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(s) + H_2O(l)$
   D. $Cu_2O(aq) + C(s) \rightarrow 2Cu(s) + CO(g)$
   E. $C(g) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
2. Pada reaksi: $2CO(g) + 2NO(g) \rightarrow 2CO_2(g) + N_2(g)$
   Bilangan oksidasi N berubah dari . . . .
   A. +2 ke 0
   B. +2 ke +1
   C. +3 ke +1
   D. +3 ke +2
   E. +4 ke +1
3. Suatu sel Volta memiliki setengah sel di bawah ini:
   $Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$ $E^\circ = -2{,}37$ V
   $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ $E^\circ = +0{,}34$ V
   Tegangan sel yang dihasilkan . . . .
   A. –2,71 V
   B. –2,03 V
   C. +1,36 V
   D. +2,03 V
   E. +2,71 V
4. Untuk mereduksi 60 gram ion kalsium menjadi logam kalsium (A_r Ca = 40) diperlukan . . . Faraday.
   A. 1,0
   B. 1,5
   C. 2,0
   D. 3,0
   E. 4,0

5. Sel Volta terdiri atas elektrode Ag dalam $AgNO_3$ 1 M dan Zn dalam $ZnSO_4$ 1 M dengan data potensial elektrode standar: $Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$ $E^\circ = +0{,}80$ V
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$ $E^\circ = -0{,}76$ V

Pernyataan-pernyataan di bawah ini benar, **kecuali** . . . .
A. elektrode Ag bertindak sebagai katode
B. elektrode Zn bertindak sebagai anode
C. potensial sel yang dihasilkan adalah +0,03 V
D. reaksi sel yang terjadi adalah:
$2Ag^+(aq) + Zn(s) \rightarrow 2Ag(s) + Zn^{2+}(aq)$
E. logam Ag mengendap pada elektrode Ag

6. Gas flour dapat diperoleh melalui elektrolisis leburan KHF_2 dengan reaksi $HF^- \rightarrow HF + \frac{1}{2}F_2 + e^-$

Waktu yang diperlukan untuk memperoleh 15 liter F_2 (pada STP) dengan arus sebesar 20 ampere adalah . . . .
(Diketahui 1 F = 96500 dan 1 mol gas = 22,4 L)
A. 0,90 jam
B. 1,29 jam
C. 1,80 jam
D. 2 jam
E. 4 jam

7. Pada elektrolisis larutan $CuSO_4$ yang menggunakan elektrode platina terbentuk endapan tembaga sebanyak 3,175 gram pada katode. Volume gas yang terjadi pada anode jika diukur pada keadaan saat 5 dm^3 gas N_2 massanya 7 gram adalah . . . . (A_r Cu = 63,5 ; N = 14)
A. 0,5 dm^3
B. 1 dm^3
C. 1,12 dm^3
D. 2 dm^3
E. 4 dm^3

8. HClO dapat dibuat melalui elektrolisis gas klorin dengan reaksi: $Cl_2(g) + H_2O(l) \rightarrow HClO(aq) + HCl(aq)$

Jika gas klorin diperoleh dari elektrolisis NaCl dengan jumlah listrik 2 F, maka jumlah HClO yang dihasilkan . . . .
A. 4 mol
B. 2 mol
C. 1 mol
D. 0,5 mol
E. 0,25 mol

9. Satu liter larutan $AgNO_3$ dielektrolisis menggunakan elektrode platina. Apabila pada saat elektrolisis dilewatkan muatan listrik 965 coulomb, maka pH larutan adalah . . . .
A. 2 – log 4
B. 2 – log 2
C. 2
D. 3 – log 2,5
E. 4

10. Pipa yang terbuat dari bahan sintetik banyak digunakan untuk menggantikan pipa besi, sebab pada pipa besi mudah timbul karat dari senyawa . . . .
    A. FeO
    B. $FeCO_3$
    C. $Fe(OH)_3$
    D. FeO_2
    E. $Fe_2O_3.nH_2O$

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

1. Pergunakan metode "setengah reaksi" untuk menyetarakan reaksi redoks di bawah ini!
    a. $Ag(s) + NO_3^-(aq) \rightarrow Ag^+(aq) + NO(g)$
    b. $H_2O_2(aq) + MnO_4^-(aq) \rightarrow Mn^{2+}(aq) + O_2(g)$
    c. $Cl_2(g) + I^-(aq) \rightarrow Cl^-(aq) + IO_3^-(aq)$
    d. $CH_3CH_2ONO_2(aq) + Sn(s) + H^+(aq) \rightarrow CH_3CH_2OH(aq) + NH_2OH(aq) + Sn^{2+}(aq) + H_2O(l)$
2. Saat serbuk fosfor (P_4) direaksikan dengan air pada suhu tinggi, maka akan terjadi reaksi disproporsionasi menjadi gas PH_3 dan H_3PO_4. Tuliskan persamaan reaksi redoksnya!
3. Diketahui potensial elektrode standar berikut:
    $Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$ $\quad E^\circ = -0{,}44$ V
    $Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$ $\quad E^\circ = -1{,}85$ V
    $Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$ $\quad E^\circ = +0{,}80$ V
    Telitilah reaksi berikut ini dapat berlangsung secara spontan atau tidak!
    a. $Zn^{2+}(aq) + 2Ag(s) \rightarrow Zn(s) + 2Ag^+(aq)$
    b. $Ag^+(aq) + Fe(s) \rightarrow Ag(s) + Fe^{2+}(aq)$
4. Tuliskan reaksi elektrolisis larutan $NiSO_4$ yang menggunakan elektrode logam:
    a. nikel sebagai anode dan besi sebagai katode,
    b. nikel sebagai anode dan platina sebagai katode,
    c. platina sebagai anode dan nikel sebagai katode!
5. Dalam suatu percobaan elektrolisis, Veri melewatkan listrik pada dua sel elektrolisis yang disusun seri. Masing-masing sel elektrolisis tersebut terdiri atas garam perak dan garam kromium. Beberapa saat kemudian, pada masing-masing katode dihasilkan 2,62 gram logam perak dan 0,63 gram logam kromium. Tentukan bilangan oksidasi krom pada senyawa garam tersebut!
    (A_r Ag = 108; A_r Cr = 52)

Bab III



Kimia Unsur

Sumber gambar: *Ilmu Pengetahuan Populer 4*

Tujuan Pembelajaran:

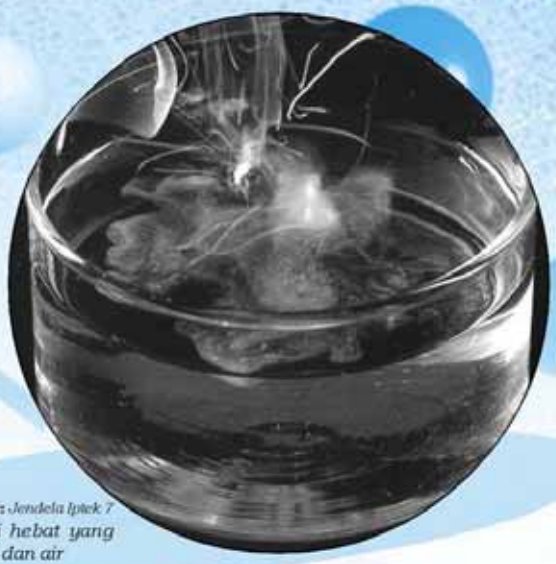
Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mengidentifikasi kelimpahan unsur-unsur penting di alam, sifat fisik dan kimianya, menjelaskan kegunaan dan bahayanya serta mendeskripsikan unsur radioaktif.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Unsur utama
2. Unsur transisi
3. Unsur radioaktif



Sumber: *Jendela Iptek 7*

Gambar 3.1 *Reaksi hebat yang terjadi antara natrium dan air*

Makanan tanpa garam pasti terasa sangat hambar. Sebenarnya garam tersusun dari unsur natrium dan klorin. Tahukah kalian, bahwa jika natrium dan klorin tersebut dipisahkan dari senyawanya maka keduanya akan menjadi unsur yang sangat berbahaya dengan karakteristiknya masing-masing. Berbeda halnya saat keduanya menjadi senyawa berbentuk garam dapur. Natrium sangat reaktif (mudah meledak) jika terkena air, sedangkan klorin merupakan gas yang amat berbahaya jika terkena mata manusia. Mengapa bisa demikian? Jawabannya dapat kita peroleh jika kita mempelajari tentang kimia unsur.

A. Kelimpahan Unsur di Alam dan Identifikasinya

Unsur-unsur utama dan transisi melimpah di alam, sehingga kita perlu mengetahui cara mengidentifikasinya.

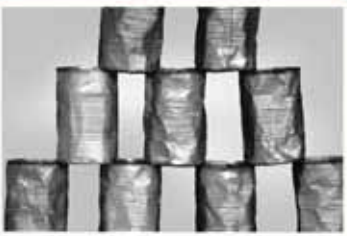
1. Aluminium (Al)

Coba perhatikan sampah kaleng di lingkungan kalian! Terbuat dari apakah kaleng tersebut? Salah satu logam untuk membuat kaleng adalah aluminium. Logam aluminium berwarna putih mengkilap, bersifat liat dan dapat ditempa, sedangkan bentuk serbuknya berwarna abu-abu.

Aluminium merupakan unsur logam yang kelimpahannya di kerak bumi menempati urutan ketiga paling banyak setelah oksigen dan silikon. Namun demikian, aluminium tergolong logam yang

relatif mahal karena mineral yang dapat dijadikan sebagai sumber aluminium sangat terbatas dan senyawa aluminium sukar direduksi.

Aluminium yang ada di alam banyak ditemukan dalam bentuk senyawa aluminosilikat, yaitu suatu mineral yang tersusun dari unsur aluminium, oksigen, dan silikon, Mineral ini sukar diolah, sehingga tidak punya nilai komersial. Selain itu, aluminium ditemukan dalam bentuk *bauksit* ($Al_2O_3.2H_2O$), *kriolit* (Na_3AlF_6), *kaolin/tanah liat* ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$), dan *tawas* ($K_2SO_4.Al_2(SO_4)_3.24H_2O$). Bijih utama aluminium yang sering digunakan untuk membuat logamnya adalah bauksit. Di Indonesia, bauksit banyak terdapat di Pulau Bintan dan Kalimantan.



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar 1*

Gambar 3.2 *Aluminium bersifat lunak dan mudah ditempa*

Cara untuk mengidentifikasi adanya aluminium (dalam bentuk Al^{3+}) adalah dengan menambahkan larutan basa seperti NaOH ke dalam larutan uji. Jika ada endapan putih berarti ada aluminium.

$$Al^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightarrow \underset{\text{endapan putih}}{Al(OH)_3(s)}$$

Jika penambahan diteruskan, maka endapan putih akan larut kembali. Hal ini disebabkan karena endapan putih $Al(OH)_3(s)$ larut dalam basa membentuk $(Al(OH)_4)^-(aq)$ menurut reaksi:

$$Al(OH)_3(s) + OH^-(aq) \rightarrow (Al(OH)_4)^-(aq)$$

2. Silikon (Si)

Pernahkah kalian mendengar operasi plastik? Apa yang terbayang di pikiran kalian saat itu? Plastikkah yang benar-benar digunakan?

Sebenarnya yang digunakan adalah salah satu jenis unsur yaitu silikon. Silikon merupakan unsur nonlogam terbanyak kedua yang menyusun kerak bumi setelah oksigen. Di alam, silikon berada dalam bentuk *silikon oksida* (SiO_2) dan senyawa *silikat*. Kuarsa adalah salah satu bentuk kristal SiO_2 murni. *Pasir, agata (akik), oniks, opal, ametis,* dan *flint* adalah SiO_2 dengan suatu bahan pengotor dalam jumlah runut. Senyawa silikat adalah mineral paling melimpah dalam kulit bumi. Beberapa silikat di alam di antaranya adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Macam-macam Silikat di Alam

No.	Kelompok Mineral	% dalam Kulit Bumi	Kelompok Mineral	Rumus Kimia dan Nama Umum
1.	Feldspar	49	Kristal seperti kotak (tiga dimensi)	$KAlSi_3O_8$, oroklase $NaAlSi_3O_8$, albit $CaAl_2Si_2O_8$, anartit $Na_4Al_3Si_3O_{12}Cl$, sodalit
2.	Amfibol/ Piroksena	15	Kristal seperti rantai (satu dimensi)	$CaSiO_3$, wolastonit $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$, tremolit (suatu asbes)
3.	Mika	8	Kristal seperti lapisan (dua dimensi)	$KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$, muskovit $K_2Li_3Al_4Si_7O_{21}OH(F)_3$, lepidolit

Untuk mengidentifikasi silikon ini, kita dapat menggunakan zat seperti berikut:

a. Larutan HCl

Dengan meneteskan beberapa tetes larutan HCl pada larutan uji. Jika terbentuk endapan berarti ada silikon. Endapan tersebut adalah asam metasilikat yang berbentuk seperti gelatin.

b. Larutan $AgNO_3$

Dengan meneteskan beberapa tetes $AgNO_3$ ke dalam 1 mL larutan uji. Jika ada endapan berwarna kuning yang dapat larut dalam amonia, berarti ada silikon. Endapan tersebut adalah senyawa perak silikat.

c. Larutan $BaCl_2$

Dengan menambahkan beberapa tetes larutan $BaCl_2$ ke dalam 1 mL larutan uji. Jika ada endapan putih yang larut dalam larutan amonium nitrat encer, berarti larutan mengandung silikon.

3. Besi (Fe)

Lihatlah di sekitar kalian! Benda apa saja yang terbuat dari besi? Hampir sebagian besar benda yang ada di sekitar kita terbuat dari besi. Termasuk sepeda, sepeda motor, atau bus yang kalian naiki ke sekolah.

Besi merupakan unsur logam yang banyak tersebar di permukaan bumi. Kelimpahannya di alam adalah kedua setelah aluminium dan merupakan unsur keempat yang paling banyak

terdapat di kulit bumi. Besi merupakan logam paling murah dan banyak digunakan oleh manusia. Di alam, besi banyak ditemukan dalam bentuk *hematit* (Fe_2O_3), *magnetit* (Fe_3O_4), *limonit* (FeO(OH)), dan *siderit* ($FeCO_3$). Di Indonesia, bijih-bijih besi ini banyak terdapat di Kalimantan Barat, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Sulawesi Tengah, dan Pulau Jawa. Apakah di daerah kalian juga terdapat tambang besi? Kalau ada, amatilah dan catat hal-hal penting berkaitan dengan besi dari tempat tersebut.

Besi murni sangat reaktif dalam udara lembap dan cepat teroksidasi hingga membentuk karat, sehingga banyak dibuat untuk baja. Baja adalah campuran antara besi, karbon, dan logam-logam lain (kadar 0,09 – 0,9%). Baja *stainless steel* terdiri dari campuran dengan kadar 72% (*b*/*b*) Fe, kadar 19% (*b*/*b*) Cr, dan kadar 9% (*b*/*b*) Ni, yang digunakan pada pembuatan rel kereta api, senapan, dan tank. Amatilah benda apa lagi yang terbuat dari baja di rumah dan lingkungan sekitar kalian!

Untuk mengidentifikasi adanya besi dalam produk, maka dilakukan pelarutan dalam asam klorida atau asam sulfat encer. Besi akan larut menjadi besi(II) klorida atau besi(II) sulfat dan gas hidrogen.

$$Fe(s) + 2HCl(aq) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2Cl^{-}(aq) + H_2(g)$$

Keberadaan ion Fe^{2+} diidentifikasi dengan pereaksi dimetilglioksim atau kalium heksasianoferat(II) atau kalium heksasianoferat(III). Dimetilglioksim ($C_4N_2O_2H_8$ = DMGH) akan memberikan hasil positif berupa endapan merah.

$$Fe^{2+}(aq) + DMGH(aq) \rightarrow (Fe(DMGH)_2(s)$$
endapan merah

Kalium heksasianoferat(II) diberikan pada kondisi hampa udara, akan memberikan hasil positif berupa endapan putih.

$$Fe^{2+}(aq) + 2K^{+}(aq) + (Fe(CN)_6)^{4-}(aq) \rightarrow K_2Fe(Fe(CN)_6)(s)$$
endapan putih

Kalium heksasianoferat(III) akan memberikan hasil positif berupa endapan biru tua. Mula-mula ion heksasianoferat(III) mengoksidasi besi(II) menjadi besi(III), sehingga terbentuk heksasianoferat(II).

$$Fe^{2+}(aq) + (Fe(CN)_6)^{3-}(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + (Fe(CN)_6)^{4-}(aq)$$
$$4Fe^{2+}(aq) + 3[Fe(CN)_6]^{4-}(aq) \rightarrow Fe_4(Fe(CN)_6)_3(s)$$
endapan biru tua

Keberadaan ion Fe^{3+} diidentifikasi dengan larutan kalium tiosianat (KSCN) dengan hasil positif berupa larutan berwarna merah darah.

$$Fe^{3+}(aq) + SCN^{-}(aq) \rightarrow Fe(SCN)_3(aq)$$

Identifikasi dapat juga dengan menggunakan pereaksi kalium heksasianoferat(II). Hasil positifnya berupa larutan warna biru tua dan pereaksi kalium heksasianoferat(III) dengan hasil positif berupa endapan warna cokelat.

$$4Fe^{3+}(aq) + 3[Fe(CN)_6]^{4-}(aq) \rightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3(s)$$
larutan biru tua

$$Fe^{3+}(aq) + [Fe(CN)_6]^{3-}(aq) \rightarrow Fe[Fe(CN)_6](s)$$
endapan warna cokelat

4. Kromium (Cr)

Kalian mempunyai gantungan kunci dari besi? Supaya tidak berkarat biasanya di antara kalian ada yang **kreatif** menyepuhkan benda tersebut dengan kromium. Kromium merupakan logam yang sangat tahan terhadap korosi, berwarna putih, tidak begitu liat, namun tidak dapat ditempa.

Kromium yang ditemukan di dalam umumnya dalam bentuk mineral *kromit* ($FeCr_2O_4$). Di Indonesia, mineral ini terdapat di Sulawesi Tengah.

Untuk mengidentifikasi ada tidaknya kromium dalam suatu zat dengan cara zat tersebut dilarutkan dalam larutan asam klorida encer. Kromium yang ada, akan larut dan membentuk ion Cr^{2+} dalam larutan, menurut reaksi:

$$Cr(s) + 2H^{+}(aq) \rightarrow Cr^{2+}(aq) + H_2(g)$$

Ion Cr^{2+} ini mudah teroksidasi menjadi ion Cr^{3+}. Ion Cr^{3+} dapat diidentifikasi menggunakan larutan amonia. Jika ke dalam suatu larutan yang mengandung ion Cr^{3+} ini ditambahkan larutan amonia, akan terbentuk endapan seperti gelatin yang berwarna abu-abu biru berupa kromium(III) hidroksida, $Cr(OH)_3$.

$$Cr^{3+}(aq) + 3NH_3(g) + 3H_2O(l) \rightarrow Cr(OH)_3(s) + 3NH_4^{+}(aq)$$

Kromium dapat juga berada dalam bentuk ion CrO_4^{2-}. Keberadaan ion ini dapat diketahui dengan cara menambahkan asam asetat encer ke dalam larutan uji. Kocok larutan tersebut, kemudian tambahkan larutan timbal asetat. Jika larutan uji mengandung ion CrO_4^{2-}, penambahan pereaksi ini akan menghasilkan endapan kuning.

$$CrO_4^{2-}(aq) + CH_3COOPb(aq) \rightarrow Pb_2(CrO)_4(s) + CH_3COO^{-}(aq)$$
endapan kuning

5. Tembaga (Cu)

Kalian pasti sering memanfaatkan kabel di rumah? Bagian dalam yang berupa beberapa utas kawat halus inilah yang disebut dengan tembaga. Tembaga adalah logam yang berwarna kuning kecokelatan lunak, liat, dan dapat ditempa.

Kelimpahan unsur tembaga dalam kerak bumi adalah 68 ppm. Tembaga terdapat terutama sebagai sulfida, oksida, atau karbonat, seperti bijih tembaga pirit, kalkopirit *(chalcopyrite)* yaitu tembaga(I) besi(III) sulfida, $CuFeS_2$, tembaga *glance kalkosit (chalcocyte)*, Cu_2S, kuprit *(cupryte)*, Cu_2O, dan malasit *(malachite)*, $Cu_2CO_3(OH)_2$. Mineral *kalkopirit* dan *malachite* banyak terdapat di Papua.

Untuk mengidentifikasi keberadaan tembaga dalam suatu zat, maka rendam zat tersebut dalam larutan asam nitrat 8 M. Tembaga akan larut menurut reaksi:

$$3Cu(s) + 8HNO_3(aq) \rightarrow 3Cu^{2+}(aq) + 6NO_3^-(aq) + 2NO(g) + 4H_2O(l)$$

Ion Cu^{2+} dapat diidentifikasi menggunakan benda yang terbuat dari besi, contoh paku. Paku dimasukkan dan didiamkan beberapa lama dalam larutan yang dianggap mengandung Cu^{2+}. Jika terbentuk lapisan berwarna kuning kecokelatan pada permukaan paku berarti larutan mengandung tembaga. Mengapa hal ini bisa terjadi? Masih ingat dengan kespontanan redoks.

Cara lain yaitu mengasamkan larutan dengan HNO_3 encer. Kemudian menambahkan NaOH 1 M ke dalam larutan dan berbentuk endapan biru. Jika endapan tersebut dipanaskan menjadi cokelat, maka larutan tersebut mengandung tembaga. Atau setelah diasamkan dengan HNO_3 encer, ditambah $Fe(CNS)_3$ dan larutan $Na_2S_2O_3$ 1% terbentuk endapan putih, maka larutan benar-benar mengandung tembaga.

6. Belerang/Sulfur (S)

Apakah kalian pernah mendatangi daerah wisata Dieng di Jawa Tengah? Atau daerah wisata Tangkuban Perahu di Jawa Barat? Kalian pasti pernah mencium bau menyengat, bukan? Bau menyengat tersebut adalah uap belerang (sulfur).

Belerang terdapat secara luas di alam sebagai unsur bebas, terutama di daerah pegunungan berapi (Gambar 3.3). Belerang terdapat dalam lapisan kurang lebih 150 m di bawah batu karang, pasir, atau tanah liat, yang keberadaannya dalam bentuk senyawa H_2S, SO_2, $CaSO_4$, dan $MgSO_4$.



Sumber: *CD Image*

Gambar 3.3 *Belerang terdapat pada gunung berapi*

Senyawa belerang/sulfur adalah sebagai berikut:

a. Senyawa SO_2

Senyawa SO_2 (sulfur dioksida) merupakan gas tidak berwarna, berbau khas yang dapat membuat mata perih dan merusak saluran pernapasan. Senyawa SO_2 terbentuk dari pembakaran batu bara (yang mengandung belerang) dan pemanggangan bijih sulfida.

1) *Pembakaran batu bara (yang mengandung belerang)*

$$S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$$

2) *Pemanggangan bijih sulfida*

$$2FeS_2(s) + O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3(s) + 4SO_2(g)$$

Senyawa SO_2 sangat larut dalam air, sehingga supaya tidak larut maka perlu dialirkan melalui kapur yang lembap.

$$CaCO_3(s) + SO_2(g) \rightarrow CaSO_3(s) + CO_2(g)$$

b. Senyawa SO_3

Senyawa SO_3 adalah padatan yang mudah menguap. Senyawa SO_3 dibuat dengan cara oksidasi SO_2 dengan oksigen secara spontan. Proses oksidasi ini berjalan sangat lambat, karena SO_2 sangat stabil. Untuk mempercepat proses oksidasi, tambahkan katalis vanadium(V) oksida ke dalamnya.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g) \quad \Delta H = -98 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Kemudian menghasilkan SO_3 yang bereaksi dengan air menghasilkan H_2SO_4.

$$SO_3(g) + H_2O(g) \rightarrow H_2SO_4(l) \quad \Delta H = -130 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Asam sulfat banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pupuk (pupuk fosfat), cat, detergen, dan sabun, serta serat alami atau buatan.

7. Karbon (C)

Pernah kalian memperhatikan intan yang digunakan untuk perhiasan? Pernahkah kalian berpikir tentang pensil yang kalian pakai sekarang? Terbuat dari apakah intan dan pensil tersebut? Keduanya merupakan contoh bentuk karbon yang akan kita bahas saat ini. Ada tiga macam bentuk karbon di alam yaitu unsur karbon, senyawa karbon organik, dan senyawa karbon anorganik.

a. *Unsur Karbon*

Unsur karbon terdapat dalam tiga bentuk, yaitu bentuk amorf, grafit, dan intan. Unsur karbon dalam bentuk amorf, selain terdapat di alam, juga dihasilkan dari pembakaran terbatas minyak bumi (jumlah oksigen terbatas, sekitar 50% dari jumlah oksigen yang diperlukan untuk pembakaran sempurna).

Secara alami, karbon amorf terdapat dalam serbuk gergaji, lignit batu bara, gambut, kayu, batok kelapa, dan biji-bijian.

Bentuk unsur karbon yang lain yaitu grafit terdapat dalam bentuk padatan yang memiliki ukuran kristal dan tingkat kemurnian yang berbeda-beda. Grafit dapat dibuat kokas (bentuk karbon amorf) menurut reaksi berikut:

$$C\ (amorf) \rightarrow C\ (grafit)$$

Bentuk unsur karbon yang ketiga yaitu intan. Intan digunakan untuk perhiasan (Gambar 3.4) Intan secara alami diperoleh dari karbon yang diberi tekanan dan suhu tinggi dalam perut bumi. Intan juga dapat dibuat dari grafit yang diolah pada suhu 3000°K dan tekanan lebih dari 125 kbar. Proses ini menggunakan katalis logam transisi, seperti kromium (Cr), besi (Fe), dan platina (Pt).

b. *Senyawa Karbon Organik*

Karbon organik merupakan penyusun alkana dan turunannya, benzena dan turunannya, karbohidrat, protenin, dan lemak. Karbohidrat, protein, dan lemak merupakan komponen penting dalam tubuh makhluk hidup. Oleh karena itu, semua jasad makhluk hidup pasti mengandung senyawa karbon organik.



Sumber: *CD Image*

Gambar 3.4 *Intan untuk perhiasan*

c. *Senyawa Karbon Anorganik*

Senyawa karbon anorganik terdiri atas karbon dioksida (CO_2) dan garam-garam karbonat ($MgCO_3$, $CaCO_3$, dan $BaCO_3$). Senyawa CO_2 merupakan komponen penyusun udara. Senyawa CO_2 ini dihasilkan dari pembakaran senyawa karbon, proses pernapasan manusia dan hewan, dan ditemukan juga pada mata air mineral.

8. Nitrogen

Nitrogen adalah gas yang tidak reaktif, memiliki titik didih −196°C dan titik beku −210°C. Volume kelimpahan nitrogen di udara sekitar 78% (*v*/*v*). Sumber nitrogen yang diperlukan makhluk hidup bukan langsung dari udara tersebut, melainkan dari senyawa nitrogen dalam makanan yang dihasilkan dari siklus nitrogen. Masih ingat di pelajaran biologi, bukan?

Perubahan unsur nitrogen menjadi senyawa nitrogen terjadi melalui siklus nitrogen yang berlangsung melalui dua cara, yaitu:

a. Proses fiksasi, yaitu gas N_2 dari udara akan diikat oleh suatu bakteri yang hidup bebas atau bersimbiosis dengan tumbuhan kacang-kacangan menjadi senyawa nitrogen yang diperlukan makhluk hidup.

b. Proses elektrifikasi, yaitu senyawa nitrogen (oksida nitrogen) diperoleh dari reaksi antara gas N_2 dan O_2 di alam saat terjadinya petir. Oksida nitrogen tersebut akan larut dalam air hujan, sehingga terbentuklah senyawa nitrat yang akan diserap oleh tumbuhan.

Senyawa nitrogen yang terdapat secara alamiah di alam adalah natrium nitrat ($NaNO_3$) yang dikenal sebagai *Salpeter chili*. Senyawa ini merupakan sumber utama nitrogen terikat yang masih di tambang di dataran tinggi Chili.

9. Oksigen

Saat kalian di bawah pohon, kalian pasti merasa nyaman dan segar untuk bernapas. Berbeda halnya saat kalian di ruangan yang penuh sesak, kalian akan kesulitan untuk bernapas. Sebenarnya apa yang menyebabkannya? Hal ini karena perbedaan jumlah oksigen yang ada di kedua tempat tersebut mempengaruhi sistem pernapasan kita.

Oksigen adalah unsur golongan VIA yang berwujud gas pada suhu kamar. Gas oksigen merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan lebih ringan daripada udara. Salah satu unsur

utama pembentuk kerak bumi adalah oksigen, yakni sekitar 46,6%. Air mempunyai kandungan oksigen sekitar 89% dan di atmosfer mempunyai kandungan oksigen sekitar 21% (*v*/*v*).

Oksigen mempunyai 3 isotop, yaitu O_8^{16}, (99,76%), O_8^{17} (0,04%), O_8^{18} (0,2%), yang melalui distilasi bertingkat dari air dapat dibuat konsentrat yang mengandung nuklida O_8^{18} sampai dengan 97%, atau nuklida O_8^{17} sampai dengan 4%. Oksigen yang sangat murni diperoleh dengan cara elektrolisis air.

$$2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$$

Oksigen bereaksi dengan semua unsur, baik pada suhu kamar atau pada suhu tinggi, kecuali dengan unsur sebagai berikut:

a. Halogen
b. Beberapa logam mulia
c. Gas mulia

Oksigen akan membentuk susunan elektron yang stabil seperti unsur Ne dengan cara sebagai berikut:

a. Penggabungan elektron (O^{2-})
b. Pembentukan 2 ikatan kovalen tunggal (–O–)
c. Ikatan rangkap
d. Pembentukan satu satu ikatan tunggal dan penggabungan elektron OH^-.

a. Gas Oksigen

Oksigen banyak terdapat di alam, kandungannya di udara sekitar 21% (*v*/*v*). Oksigen di atmosfer, terdapat dalam bentuk molekul diatomik (O_2). Adapun oksigen yang terletak di atas lapisan atmosfer terdapat dalam bentuk monoatomik (O) dan triatomik (O_3). Gejala perubahan bentuk molekul ini disebut *alotropi*, berasal dari bahasa Yunani, *allos* dan *tropos*, yang berarti cara lain.

Gas oksigen bersifat tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, memiliki titik didih –183°C, dan titik beku –218,4°C. Dengan pengaruh tekanan yang besar (135 atm), oksigen dapat disimpan di dalam tabung yang terbuat dari baja. Oksigen bersifat nonpolar, tetapi dapat larut dalam air. Secara fisik oksigen terlarut ini sangat penting bagi kehidupan organisme yang hidup dalam air, misalnya ikan.

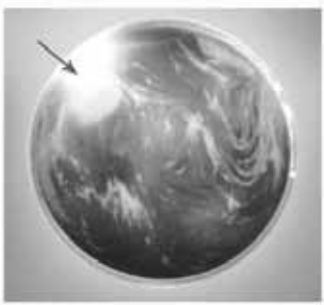
b. Gas Ozon (O_3)

Ozon merupakan alotropi oksigen. Ozon terbentuk dari gas oksigen yang melewati bunga api listrik atau terkena di udara.

$$3O_2(g) \rightarrow 2O_3(g)$$

Trioksigen atau ozon terjadi karena tertariknya muatan elektron yang bebas. Ozon murni diperoleh dari pencairan bertingkat campuran $O_2 - O_3$ yang berbentuk cairan biru tua yang eksplosif. Akibat penyinaran ultraviolet ($\lambda = 240$ nm) pada O_2, molekul oksigen terurai menjadi atom oksigen yang bereaksi dengan molekul oksigen membentuk ozon.

Reaksi ini terjadi di atmosfer pada ketinggian 25 km. Lapisan ozon adalah pelindung permukaan bumi dari sinar matahari, menyerap sinar UV yang merusak sel hidup. Senyawa yang berperan dalam merusak lapisan ozon adalah freon (CF_2Cl_2) untuk *refrigerant*. Hal yang harus kita perhatikan untuk melindungi permukaan bumi dari pemanasan sinar ultraviolet adalah dengan mengurangi atau menghentikan pemakaian freon tersebut. Lapisan ozon yang menipis disebut dengan lubang ozon (Gambar 3.5).



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar 7*

Gambar 3.5 *Lubang ozon di atmosfer yang terlihat dari satelit*

c. *Senyawa Oksigen*

Air (H_2O) merupakan senyawa yang mengandung atom oksigen dan hidrogen yang sangat berperan dalam kehidupan. Berapa kadar oksigen dalam satu molekul air? Kadar oksigen dalam satu molekul air dapat dihitung dengan cara:

$$\text{Presentase oksigen} = \frac{A_r}{M_r\,H_2O} \times 100\% = \frac{16}{18} \times 100\% = 88{,}9\%$$

Kadar dalam 1 molekul air adalah 88,9% padahal air adalah senyawa terbanyak yang menutupi $\frac{3}{4}$ permukaan bumi, sehingga unsur oksigen pun paling banyak terdapat di alam.

Oksigen juga ada dalam senyawa silikat (SiO_2), kapur (CaO), garam karbonat, sulfat, nitrat, atau fosfat. Ada juga dalam karbohidrat, protein, lemak, vitamin, dan hormon.

Kerjakan tugas berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan** dan mengembangkan **wawasan ke-Indonesiaan** kalian!

Tugas 3.1

1. Tambang aluminium banyak terdapat di Pulau Bintang dan Kalimantan. Mengapa aluminium dianggap sebagai logam yang relatif mahal?
2. Silikon di alam berada dalam bentuk silikon dioksida (SiO_2) dan senyawa silikat. Pasir sebenarnya juga termasuk silikon dioksida. Sebutkan contoh lain dari mineral silikon ini!
3. Kromium adalah unsur berwarna putih, tidak begitu liat, dan tahan terhadap korosi. Bagaimana cara mengidentifikasi keberadaan kromium dalam suatu larutan?
4. Unsur karbon sangat penting bagi manusia. Sebutkan 3 bentuk karbon di alam! Jelaskan!
5. Bagaimana kelimpahan gas oksigen dan nitrogen di alam?

B. Sifat Unsur

Pengelompokan unsur dalam tabel periodik ada dua, yaitu berdasarkan golongan dan periode. Kali ini, kita akan mempelajari beberapa golongan yang mempunyai sifat khusus yaitu golongan IA (alkali), golongan IIA (alkali tanah) dan golongan VIIA (halogen), sedangkan periode dengan sifat khusus yang akan kita pelajari yaitu periode ketiga.

Sifat khas masing-masing unsur tersebut berbeda-beda antara unsur satu dengan unsur yang lainnya. Pada bahasan ini, kita akan mempelajari sifat periodik, sifat fisik, dan sifat kimia unsur-unsur tersebut.

1. Golongan Halogen

Unsur golongan halogen bersifat elektronegatif dan mudah bereaksi dengan unsur elektropositif untuk membentuk garam. Halogen berarti pembentuk garam. Adapun untuk sifat periodik,

sifat kimia, dan sifat fisikanya dapat kita simak dalam penjelasan berikut.

a. Sifat Keperiodikan Unsur Halogen

Tabel 3.2 Sifat Keperiodikan Unsur Halogen

Unsur	Sifat						
	Nomor Atom	Elektron Valensi	Jari-jari Atom (nm)	Elektro-negativitas	Energi Ionisasi (kJ mol^{-1})	Afinitas Elektron (kJ mol^{-1})	Energi Ikatan X-X (kkal)
Fluorin	9	$2s^2 2p^5$	0,50	4,0	1,681	−328	38
Klorin	17	$3s^2 3p^5$	1,00	3,0	1,235	−349	58
Bromin	35	$4s^2 4p^5$	1,15	2,8	1,144	−325	46,3
Iodin	53	$5s^2 5p^5$	1,40	2,5	1,009	−295	36,2
Astatin	85	$6s^2 6p^5$	–	2,2	–	−270	–

Beberapa hal yang perlu kita perhatikan adalah:

1) Konfigurasi elektron valensi halogen adalah ns^2np^5, artinya halogen mempunyai sebuah elektron yang belum berpasangan, yang dapat membentuk pasangan elektron bersama dari masing-masing elektron pada subkulit *p*. Akibatnya halogen dalam keadaan bebas merupakan molekul diatomik (X_2).
2) Energi ionisasinya yang tinggi mengakibatkan halogen sukar melepaskan elektronnya untuk menjadi ion positif. Kecenderungan perubahan energi ionisasi dari atas ke bawah yang semakin rendah diakibatkan jari-jari atomnya yang semakin panjang.
3) Afinitas elektronnya yang tinggi (ΔH) berharga negatif, berarti pada saat menangkap elektron dilepas energi, menyebabkan halogen sangat mudah menangkap elektron untuk menjadi ion negatif.

b. Sifat Halogen

1) Wujud Zat

Apabila titik didih dan titik leleh lebih rendah daripada suhu ruangan maka wujud zat adalah gas. Berdasarkan data tersebut, maka fluorin (F_2) dan klorin (Cl_2) berbentuk gas karena titik lelehnya lebih rendah dari suhu ruangan. Bromin titik didihnya lebih tinggi dari suhu ruangan, sedangkan titik lelehnya lebih rendah, maka wujudnya adalah cair. Adapun iodin (I_2) dan astatin (At_2) keduanya memiliki titik leleh dan titik didih lebih tinggi daripada suhu ruangan. Menurut kalian apa wujud dari keduanya? Perlu diingat bahwa iodin memiliki sifat khusus yaitu menyublim pada suhu ruangan.

Tabel 3.3 Data Titik Didih dan Leleh Unsur-unsur Halogen

Unsur	Titik Didih (°C)	Titik Leleh (°C)
Fluorin	–18	–22
Klorin	–35	–10
Bromin	59	–7
Iodin	18	114
Astatin	337	133

2) Wujud dan Bau

Warna-warna unsur halogen bervariasi di antaranya fluorin (kuning muda), klorin (hijau kekuning-kuningan), bromin (merah kecokelatan), dan iodin (ungu). Bau dari unsur-unsur halogen cukup merangsang dan uapnya berbahaya bagi mata dan tenggorokan.

c. *Sifat Kimia Halogen*

Sifat ini berhubungan dengan reaksi kimia suatu zat dengan zat lain atau bereaksi dan tidaknya suatu zat, antara lain:

1) Kelarutan

Kelarutan halogen dalam air, dari atas ke bawah dalam satu golongan semakin kecil. Halogen dengan air akan mengalami peristiwa *disproporsionasi* kecuali fluorin, karena fluorin hanya mempunyai 1 bilangan oksidasi. Jika fluorin bereaksi dengan air akan menghasilkan asam fluorida (HF) dan oksigen. Gas klorin dengan air bereaksi membentuk sistem kesetimbangan, sehingga di dalam air masih ada gas klorin yaitu sebagai Cl_2. Larutannya disebut dengan air klorin. Bromin (Br_2) dan iodin (I_2) dalam air tidak bereaksi dan larutannya disebut dengan air bromin dan air iodin.

2) Kereaktifan dan Daya Pengoksidasi Halogen

Unsur halogen merupakan unsur yang reaktif. Unsur halogen memiliki tujuh elektron valensi yang memudahkan halogen menarik elektron dan menjadikannya ion negatif. Di antara kelima unsur halogen, fluorin adalah yang paling reaktif karena karena ikatan F – F merupakan ikatan paling lemah di antara unsur halogen lainnya. Dalam satu golongan semakin ke bawah, elektronegativitas unsur-unsur halogen semakin kecil.

3) Reaksi Pendesakan Halogen

Halogen pada bagian yang lebih atas pada tabel tabel periodik dalam bentuk molekul diatomik mampu mendesak garam halogen yang berada di bawahnya.

Fokus

Atom F merupakan atom yang paling elektronegatif sehingga bilangan oksidasinya juga selalu negatif.

Contohnya:

$Cl_2(g) + 2KBr(aq) \rightarrow 2KCl(aq) + Br_2(g)$

Gas klorin dalam keadaan bebas mampu mendesak ion Br^- sehingga klorin menjadi terikat (Cl^- atau KCl), sedangkan bromin menjadi bentuk bebas.

$Br_2(g) + 2KCl(aq) \not\rightarrow$

Bromin dalam keadaan bebas tidak mampu mendesak ion klorin yang terikat.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan, etos kerja,** dan kalian dapat **berpikir kritis!**

Kegiatan 3.1

Daya Oksidasi Halogen dari Daya Reduksi Halida

Tujuan:

Mengamati daya oksidasi halogen dan daya reduksi halida.

Alat:

1. Tabung reaksi (6 buah)
2. Gelas ukur (1 buah)

Bahan:

1. Air bromin
2. Air klorin
3. Iodin padat
4. Larutan KCl 0,1 M
5. Larutan KBr 0,1 M
6. Larutan KI 0,1 M
7. Larutan CCl_4

Cara Kerja:

1. Daya oksidasi klorin
   a. Isi 2 buah tabung reaksi masing-masing 2 mL air klorin.
   b. Tabung pertama diisi 2 mL larutan KBr 0,1 M dan 2 mL CCl_4. Tabung kedua diisi dengan 2 mL larutan KI 0,1 M dan 2 mL CCl_4.

c. Kocok dan amati perubahannya!

2. Daya oksidasi bromin
   a. Isi 2 buah tabung reaksi masing-masing 2 mL air bromin.
   b. Tabung pertama diisi 2 mL larutan KCl 0,1 M dan 2 mL CCl_4. Tabung kedua diisi dengan 2 mL larutan KI 0,1 M dan 2 mL CCl_4.
   c. Kocok dan amati perubahannya!
3. Daya oksidasi iodin
   a. Isi 2 buah tabung reaksi masing-masing dengan sepotong kecil iodin padat.
   b. Tabung pertama diisi 2 mL larutan KCl 0,1 M dan 2 mL CCl_4. Tabung kedua diisi dengan 2 mL larutan KBr 0,1 M dan 2 mL CCl_4.
   c. Kocok dan amati perubahannya!

Hasil Pengamatan:

Zat yang Bereaksi	Pengamatan
1. Daya oksidasi klorin	
a. Air klorin + KBr + CCl_4	.....
b. Air klorin + KI + CCl_4	.....
2. Daya oksidasi bromin	
a. Air bromin + KCl + CCl_4	.....
b. Air bromin + KI + CCl_4	.....
3. Daya oksidasi iodin	
a. Iodin + KCl + CCl_4	.....
b. Iodin + KBr + CCl_4	.....

Pertanyaan:

1. Berdasarkan hasil pengamatan, manakah reaksi yang berlangsung dan reaksi yang tidak berlangsung? Tuliskan persamaan reaksinya!
2. Sebutkan halogen pengoksidasi dan halida pereduksi dari reaksi yang berlangsung!
3. Urutkan halogen berdasarkan kenaikan daya oksidasinya dan halida berdasarkan kenaikan daya reduksinya!

4) Sifat Asam

Ada dua jenis asam yang dibentuk oleh halogen, yaitu asam halida dan asam oksihalida.

a) Asam halida (HX)

Asam halida terdiri dari asam fluorida (HF), asam klorida (HCl), asam bromida (HBr), dan asam iodida (HI). Kekuatannya bergantung pada kekuatan ikatan atau kemudahan putus antara H dan X.

Dalam satu golongan dari atas ke bawah, kekuatan asam halida semakin besar sehingga molekul HX mudah putus dan mudah menghasilkan ion H^+. HI ikatannya paling lemah, sehingga merupakan asam halida terkuat. Sebaliknya HF ikatannya paling kuat sehingga merupakan asam halida terlemah. Urutannya kekuatan halida adalah sebagai berikut:

$$HF < HCl < HBr < HI$$

Semakin kuat ikatannya, semakin tinggi titik didihnya. Urutan titik didihnya adalah sebagai berikut:

$$HF > HCl > HBr > HI$$

b. Asam oksihalida

Asam oksihalida adalah asam dengan bilangan oksidasi (biloks) positif (+1, +3, dan +7) karena adanya oksigen di dalamnya. Biloks positif ini tidak berlaku untuk F, tetapi berlaku untuk Cl, Br, dan I.

Tabel 3.4 Beberapa Asam Oksihalida

Biloks Halogen	Oksida Halogen	Asam Oksihalida	Asam Oksiklorida	Asam Oksibromida	Asam Oksiiodida
+1	X_2O	HXO	HClO (asam hipoklorit)	HBrO (asam hipobromit)	HIO (asam hipoiodit)
+3	X_2O_3	HXO_2	$HClO_2$ (asam klorit)	$HBrO_2$ (asam bromit)	HIO_2 (asam iodit)
+5	X_2O_5	HXO_3	$HClO_3$ (asam klorat)	$HBrO_3$ (asam bromat)	HIO_3 (asam iodat)
+7	X_2O_7	HXO_4	$HClO_4$ (asam perklorat)	$HBrO_4$ (asam perbromat)	HIO_4 (asam periodat)

Urutan kekuatan asam oksihalida adalah sebagai berikut:

$$HClO_4 > HClO_3 > HClO_2 > HClO$$

Hal ini karena semakin banyak jumlah atom oksigen pada asam oksihalida, kekuatan asam semakin besar.

2. Golongan Alkali

a. *Sifat Keperiodikan Alkali*

Di dalam tabel periodik unsur, logam alkali terletak pada golongan IA. Atom-atom logam alkali terdiri dari litium (Li), natrium (Na), kalium (K), rubidium (Rb), sesium (Cs), dan fransium (Fr). Kalium banyak terdapat pada buah pisang (gambar 3.6)Logam-logam tersebut dapat membentuk basa kuat. Oleh sebab itu disebut logam alkali. Atom-atom tersebut hanya mempunyai elektron valensi 1 yang menempati orbital s^1 sehingga mudah melepaskan elektron.



Sumber: *CD Image*

Gambar 3.6 *Buah pisang mengandung kalium*

Logam alkali digolongkan ke dalam zat pereduksi (reduktor) kuat karena mudah melepaskan elektronnya (energi ionisasinya kecil). Kemudahan ini semakin bertambah seiring dengan semakin bertambah besarnya jari-jari dan menurunnya energi ionisasi. Dapat dikatakan bahwa dalam tabel periodik dari atas ke bawah, jari-jari atomnya semakin besar dan energi ionisasinya semakin kecil sehingga mudah melepaskan elektron. Semakin kecil energi ionisasinya semakin reaktif unsur tersebut. Potensial reduksi golongan alkali memiliki harga yang besar dan negatif. Artinya, logam alkali sulit mengalami reduksi, dan sebaliknya mudah mengalami oksidasi.

Sifat pereduksi golongan alkali ini dapat dipelajari dari potensial reduksinya sebagai berikut:

Tabel 3.5 Data Sifat Periodik Logam Alkali

Unsur	Sifat				
	Elektron Valensi	Jari-jari Atom (nm)	Elektro-negativitas	Energi Ionisasi (kJ mol^{-1})	Potensial Reduksi
Li	$2s^1$	1,55	1,0	520	-3,05
Na	$3s^1$	1,90	0,9	496	-2,93
K	$4s^1$	2,35	0,8	419	-2,71
Rb	$5s^1$	2,48	0,8	403	-2,93
Cs	$6s^1$	2,67	0,7	375	-2,92

b. *Sifat Fisik Logam Alkali*

Titik didih dan titik leleh golongan alkali di atas suhu ruangan, sehingga semua unsur logam alkali berwujud padat pada suhu ruangan. Khusus sesium, jika suhu lingkungan pada saat pengukuran melebihi 28°C, unsur ini akan berwujud cair. Untuk lebih jelasnya dapat dipelajari dari tabel berikut.

Tabel 3.6 Data Sifat Fisik Logam Alkali

Unsur	Sifat		
	Massa jenis (g mL^{-1})	Titik Leleh (°C)	Titik Didih(°C)
Li	0,534	179	1.317
Na	0,97	97	892
K	0,86	63	770
Rb	1,53	39	688
Cs	1,87	28	678

Karena massa jenisnya sangat kecil, maka ketiga logam tersebut sangat ringan. Logam natrium dengan warna keperakan bersifat lunak dan sangat mudah diiris, seperti tanah liat.

c. *Sifat Kimia Logam Alkali*

1) Kereaktifan Logam Alkali

Logam alkali termasuk logam yang sangat reaktif karena merupakan pereduksi kuat. Ia mudah bereaksi dengan air, halogen, gas hidrogen, oksigen, belerang, dan nitrogen. Adapun reaksi sebagai berikut.

a) Reaksi logam alkali dan air

Reaksi antara alkali dan air mudah terjadi dan sangat eksoterm, sehingga menghasilkan ledakan yang hebat. Reaksi ini menghasilkan basa (hidroksida) dan gas hidrogen, dengan reaksi sebagai berikut:

$$\underset{\text{logam alkali}}{2M(s)} + \underset{\text{air}}{2H_2O(l)} \rightarrow \underset{\text{basa}}{2MOH(aq)} + \underset{\text{gas hidrogen}}{H_2(g)}$$

Dari reaksi tersebut dapat diketahui bahwa logam alkali merupakan reduktor kuat. Reaksi antara kalium dengan air lebih cepat daripada antara natrium dengan air. Sifat basa KOH lebih kuat dibandingkan sifat basa NaOH.

b) Reaksi logam alkali dan halogen

Jika unsur alkali bereaksi dengan unsur halogen (pengoksidasi) maka akan berlangsung hebat dan menghasilkan garam halida, dengan reaksi sebagai berikut:

$$\underset{\text{logam alkali}}{2\ M(s)} + \underset{\text{halogen}}{X_2} \rightarrow \underset{\text{garam halida}}{2MX}$$

c) Reaksi logam dan gas hidrogen

Jika logam alkali bereaksi dengan gas hidrogen akan menghasilkan senyawa hidrida yaitu senyawa yang mengandung atom hidrogen dengan biloks negatif (hidrida = hidrogen-*ida*, kata *ida* menunjukkan unsur tersebut memiliki biloks negatif).

$2\,M(s) + H_2(g) \rightarrow 2MH(s)$

logam alkali — gas hidrogen — senyawa hidrida

d) Reaksi logam alkali dan oksigen

Logam alkali mudah bereaksi dengan oksigen di udara (mudah terbakar). Maka, untuk menyimpannya biasanya direndam dalam minyak tanah supaya tidak berhubungan dengan oksigen di udara. Logam alkali membentuk senyawa *oksida* (biloks O = –2), *peroksida* (biloks O = –1), atau *superoksida* (biloks = $-\frac{1}{2}$).

Dalam satu golongan dari atas ke bawah, kecenderungan logam alkali untuk menghasilkan senyawa peroksida atau superoksida semakin besar karena sifat unsurnya semakin reaktif.

(1) Reaksi menghasilkan oksida

Agar dihasilkan oksida, maka penggunaan oksigen untuk direaksikan dengan logam alkali harus dibatasi dan digunakan suhu yang rendah (di bawah 180°C). Contoh senyawanya adalah litium oksida (Li_2O).

$4\,M(s) + O_2(g) \rightarrow 2M_2O(s)$

logam alkali — gas oksigen — oksida logam alkali

(2) Reaksi menghasilkan peroksida atau superoksida

Untuk menghasilkan peroksida, maka reaksi logam alkali dilakukan dengan pemanasan dan penggunaan oksigen harus dibatasi. Contoh senyawanya adalah natrium peroksida (Na_2O_2), kalium peroksida (K_2O_2), rubidium peroksida (Rb_2O_2), dan sesium peroksida (Cs_2O_2).

Fokus

Bilangan oksida atom O dalam senyawa
a. Oksida = -2
b. Perioksida = -1
c. Superoksida = -½

$2\,M(s) + O_2(g) \rightarrow M_2O_2(g)$

logam alkali — gas oksigen — peroksida logam alkali

Untuk menghasilkan superoksida, maka reaksi dilakukan dengan pemanasan dan penggunaan oksigen berlebihan. Contoh senyawanya adalah kalium superoksida (KO_2).

$2\,M(s) + O_2(g) \rightarrow MO_2(g)$

logam alkali — gas oksigen — superoksida logam alkali

e) Reaksi logam alkali dan belerang

Reaksi logam alkali dan belerang menghasilkan sulfida.

$$\underset{\text{logam alkali}}{2M(s)} + \underset{\text{belerang}}{S(s)} \rightarrow \underset{\text{sulfida}}{M_2S(s)}$$

f) Reaksi logam alkali dan nitrogen

Reaksi logam alkali dan nitrogen menghasilkan senyawa nitrum nitridasulfida.

$$\underset{\text{logam alkali}}{6M(s)} + \underset{\text{gas nitrogen}}{N_2(g)} \rightarrow \underset{\text{sulfida}}{2M_3N(s)}$$

2) Sifat Logam dan Sifat Basa Alkali

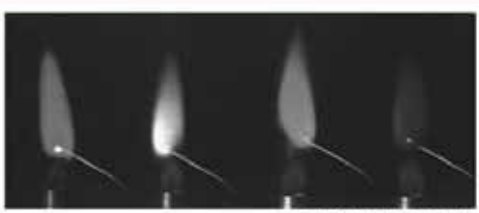
Logam alkali atau oksidasi alkali dapat bereaksi dengan air membentuk senyawa basa kuat LOH. Semakin ke bawah sifat logam alkali semakin kuat. Oleh karena itu, sifat basa golongan alkali semakin ke bawah juga semakin besar.

3) Kelarutan Basa LOH

Basa senyawa alkali semuanya mudah larut dalam air, kelarutannya dalam air makin ke bawah semakin besar.

4) Warna Nyala Logam Alkali

Warna nyala logam alkali dapat diketahui dengan mengeksitasi unsur-unsur logam tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan membakar (uji nyala) senyawa-senyawanya. Panas dari pembakaran tersebut menjadi energi bagi atom untuk melakukan eksitasi (kedudukan perubahan elektron). Selanjutnya atom akan memancarkan radiasi elektromagnetik untuk kembali ke tingkat dasar (keadan stabil). Menurut **Niels Bohr,** energi yang terpancarkan ini mempunyai jumlah tertentu dalam bentuk spektrum emisi. Spektrum emisi yang terletak pada daerah sinar tampak akan memberikan warna-warna yang jelas dan khas untuk setiap atom.



Sumber: *Jendela Iptek*

Gambar 3.7 *Uji nyala logam alkali*

Tabel 3.7 Warna Nyala Logam Alkali

Unsur	Warna Nyala
Li	Merah
Na	Kuning
K	Ungu
Rb	Merah
Cs	Biru

3. Sifat Unsur Golongan Alkali Tanah

a. *Sifat Keperiodikan Unsur Alkali Tanah*

Di dalam tabel periodik, logam alkali tanah terletak pada golongan IIA. Unsur-unsur yang termasuk logam alkali adalah berilium (Be), magnesium (Mg), kalsium (Ca), strontium (Sr), barium (Ba), dan radium (Ra). Logam-logam tersebut dapat membentuk basa seperti halnya golongan alkali. Atom-atom logam alkali tanah mempunyai elektron valensi 2 yang menempati orbital s^2.

Alkali tanah memiliki jari-jari ion yang besar dan harga ionisasi yang kecil. Hal ini berarti, atom-atom tersebut mudah melepaskan elektron artinya mudah mengalami oksidasi sehingga bersifat pereduksi kuat. Namun karena elektron valensinya 2, maka sifat pereduksinya tidak sekuat alkali. Sifat pereduksi ini ditunjukkan dengan harga potensial reduksi yang besar dan negatif. Nomor atom dan jari-jari semakin besar dari berilium ke barium, sedangkan energi ionisasinya semakin kecil.

Tabel 3.8 Data Sifat Periodik Alkali Tanah

Unsur	Sifat				
	Elektron Valensi	Jari-jari Atom (nm)	Elektro-negativitas	Energi Ionisasi (kJ mol^{-1})	Potensial Reduksi (Volt)
Be	$2s^2$	1,12	1,5	899	-1,85
Mg	$3s^2$	1,60	1,2	738	-2,37
Ca	$4s^2$	1,97	1,0	590	-2,87
Sr	$5s^2$	2,15	1,0	548	-2,89
Ba	$6s^2$	2,22	0,9	502	-2,90

b. *Sifat Fisik Alkali Tanah*

Unsur-unsur logam alkali tanah selalu berwujud padat pada suhu ruangan. Hal ini karena titik didih dan titik leleh alkali tanah lebih tinggi daripada suhu ruangan.

Tabel 3.9 Data Sifat Fisik Alkali Tanah

Unsur	Sifat		
	Massa Jenis (g mL^{-1})	Titik Leleh (°C)	Titik Didih(°C)
Be	1,86	1.280	2.770
Mg	1,74	650	1.107
Ca	1,55	838	1.484
Sr	2,60	770	1.380
Ba	3,50	714	1.640

Logam alkali tanah bersifat lebih keras daripada logam alkali. Hal ini disebabkan massa jenis logam alkali tanah lebih besar daripada kerapatan logam alkali.

c. *Sifat Kimia Alkali Tanah*

Unsur logam alkali tanah mudah bereaksi dengan unsur nonlogam. Banyak hal yang bisa dipelajari dari reaksi tersebut, di antaranya kereaktifan, sifat basa, dan sifat diagonal alkali tanah.

1) Kereaktifan Alkali Tanah

Logam alkali tanah dalam satu golongan dari atas ke bawah, sifat pereduksinya semakin kuat. Hal ini ditunjukkan semakin meningkatnya kemampuan bereaksi dengan air dari berilium ke barium. Logam alkali tanah juga bisa bereaksi dengan oksigen, nitrogen, dan halogen.

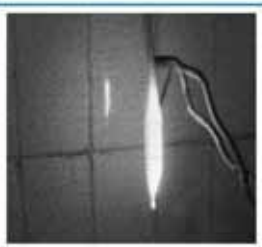
a) Reaksi dengan air

Logam alkali tanah yang mampu bereaksi dengan air adalah Ca, Sr, Ba, dan Ra. Berilium tidak dapat bereaksi dengan air, sedangkan magnesium hanya dapat bereaksi dalam air panas.

$$M(s) + 2H_2O(l) \rightarrow M(OH)_2(aq) + H_2(g)$$

b) Reaksi dengan oksigen

Logam alkali tanah yang terletak di bawah Mg mudah membentuk oksida, bahkan dapat membentuk peroksida jika jumlah oksigen berlebih. Berilium (Be) dan magnesium (Mg) akan dapat bereaksi dengan oksigen membentuk oksida jika melalui proses pemanasan saja. Keduanya akan membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam.



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 3.8 *Magnesium terbakar*

Jika pemanasan diteruskan, maka logam akan terbakar.

$2M(s) + O_2(g) \rightarrow 2MO(s)$ (oksida alkali tanah)
$M(s) + O_2(g) \rightarrow MO_2(s)$ (peroksida alkali tanah)

c) Reaksi dengan nitrogen

Logam alkali tanah jika terbakar di udara bereaksi juga dengan nitrogen membentuk nitrida.

$3M(s) + N_2(g) \rightarrow M_3N_2(s)$

d) Reaksi dengan halogen

Semua unsur alkali tanah dapat bereaksi dengan halogen membentuk garam halida.

$M + X_2 \rightarrow MX_2$

2) Sifat Logam dan Sifat Basa L $(OH)_2$

Sifat logam dan sifat basa dari berilium ke barium semakin kuat. Logam berilium bersifat amfoter, sehingga senyawanya $Be(OH)_2$ juga amfoter yaitu dapat bereaksi dengan asam dan basa. Jika bereaksi dengan asam, berarti $Be(OH)_2$ bersifat basa dan melepaskan OH^-.

$Be(OH)_2(aq) + 2HCl(aq) \rightarrow BeCl_2(aq) + 2H_2O(l)$

Jika bereaksi dengan basa, berarti $Be(OH)_2$ bersifat asam dan melepaskan H^+. Untuk memudahkan ionisasi, senyawa $Be(OH)_2$ ditulis H_2BeO_2.

$H_2BeO_2(aq) + 2NaOH(aq) \rightarrow Na_2BeO_2(aq) + 2H_2O(l)$

3) Kelarutan Basa L(OH)$_2$

Kelarutan basa dalam air dari $Be(OH)_2$ ke $Ba(OH)_2$ semakin besar, sehingga sifat basa dari $Be(OH)_2$ ke $Ba(OH)_2$ makin kuat. Semakin banyak basa terlarut, kemungkinan ionisasi membentuk OH^- makin besar sehingga basa semakin kuat.

4) Sifat Diagonal

Logam alkali dan alkali tanah, serta unsur golongan IIIA memiliki kemiripan sifat. Contohnya Be dan Al keduanya bersifat amfoter.

5) Warna Nyala Logam Alkali Tanah

Jika logam alkali tanah dibakar, maka akan muncul warna-warna yang khas dan menarik. Oleh karena itu, logam alkali tanah banyak dimanfaatkan untuk kembang api.

Tabel 3.10 Warna Nyala Logam Alkali Tanah

Unsur	Warna Nyala
Be	Putih terang
Mg	Putih terang
Ca	Merah jingga
Sr	Merah bata
Ba	Hijau

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan, etos kerja,** dan kalian dapat **berpikir kritis!**

Kegiatan 3.2

Warna Nyala Alkali dan Alkali Tanah

Tujuan:

Mengamati dan mengidentifikasi warna nyala kation logam alkali dan alkali tanah.

Alat:

1. Pembakar Bunsen
2. Kawat platina atau kawat nikrom
3. Kaca arloji

Bahan:

1. KCl
2. NaCl
3. HCl pekat
4. $MgCl_2$
5. $CaCl_2$
6. $BaCl_2$

Cara Kerja:

1. Letakkan sedikit masing-masing zat (3 – 4 mg) ke dalam kaca arloji.
2. Tetesi dengan HCl pekat, kemudian larutkan.
3. Celupkan kawat platina ke dalam larutan tersebut, kemudian bakar pada pembakar Bunsen.
4. Amati warna nyala api.

Hasil Pengamatan:

Garam	Warna Nyala
NaCl	.....
KCl	.....
$CaCl_2$	.....
$BaCl_2$	.....
$MgCl_2$	.....

Pertanyaan:

1. Jelaskan bagaimana terbentuknya warna nyala tersebut!
2. Apa kegunaan dari senyawa tersebut dengan melihat warna nyala yang bervariasi ini?

6) Kelarutan dan Pengendapan Senyawa Alkali Tanah

a) Kelarutan

Ada hubungan antara kelarutan dan hasil kali kelarutan (K_{sp}), suatu garam dalam air. Kelarutan basa alkali tanah $M(OH)_2$ dari berilium ke barium semakin besar. Jika kelarutan semakin besar berarti semakin banyak zat tersebut yang larut.

Tabel 3.11 Hasil Kali Kelarutan (K_{sp}) Logam Alkali Tanah

Ion M^{2+}	Senyawa				
	$M(OH)_2$	MSO_4	MCO_3	$MCrO_4$	MC_2O_4
Be^{2+}	2×10^{16}	Besar	–	Besar	–
Mg^{2+}	$1{,}8 \times 10^{-11}$	Besar	2×10^{-18}	Besar	$8{,}5 \times 10^{-5}$
Ca^{2+}	$3{,}7 \times 10^{-6}$	$2{,}4 \times 10^{-5}$	2×10^{-18}	$7{,}1 \times 10^{-4}$	2×10^{-9}
Sr^{2+}	$1{,}2 \times 10^{-4}$	$3{,}2 \times 10^{-7}$	2×10^{-18}	$2{,}5 \times 10^{-5}$	5×10^{-8}
Ba^{2+}	5×10^{-2}	$1{,}3 \times 10^{-10}$	2×10^{-18}	$1{,}2 \times 10^{-10}$	2×10^{-7}

b) Pengendapan

Beberapa endapan senyawa logam alkali tanah mempunyai warna dan intensitas yang berbeda sehingga data tersebut dapat digunakan untuk analisis kualitatif, yaitu mengidentifikasi suatu kation logam alkali tanah.

Tabel 3.12 Reaksi Pengendapan Logam Alkali Tanah

Ion Logam Alkali Tanah	Pereaksi				
	Na_2SO_4 1 M	K_2CrO_4 1 M	NaOH 1 M	Na_2CO_3 1 M	$Na_2C_2O_4$ 1 M
Mg^{2+}	Tidak ada endapan	Tidak ada endapan	Endapan putih, tebal	Endapan putih	Tidak ada endapan
Ca^{2+}	Endapan putih, tipis	Tidak ada endapan	Endapan putih, tipis	Endapan putih	Endapan putih, tipis
Sr^{2+}	Endapan putih	Endapan kuning pucat, tipis	Tidak ada endapan	Endapan putih, tebal	Endapan putih
Ba^{2+}	Endapan putih, tebal	Endapan kuning	Tidak ada endapan	Endapan putih, tebal	Endapan putih, tebal

4. Sifat Unsur Periode Ketiga

a. Sifat Keperiodikan Unsur Periode Ketiga

Unsur periode ketiga terdiri dari natrium (Na), magnesium (Mg), aluminium (Al), silikon (Si), fosfor (P), belerang (S), klorin (Cl), dan argon (Ar). Persamaan unsur-unsur tersebut adalah mempunyai tiga kulit elektron pada masing-masing atomnya. Perbedaannya adalah memiliki jumlah elektron yang berbeda, mulai dari 1 pada unsur Na yang secara berurutan meningkat sampai dengan 8 pada unsur Ar. Perbedaan tersebut menimbulkan perbedaan sifat dari unsur-unsur tersebut.

Tabel 3.13 Data Sifat Periodik Unsur-unsur Periode Ketiga

No.	Sifat-sifat	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
1.	Nomor atom	11	12	13	14	15	16	17	18
2.	Elektron valensi	$3s^1$	$3s^2$	$3s^23p^1$	$3s^23p^2$	$3s^23p^3$	$3s^23p^4$	$3s^23p^5$	$3s^23p^6$
3.	Energi ionisasi	495,9	738,1	577,9	786,3	1012	999,5	1251	1521
4.	Jari-jari atom	1,90	1,60	1,43	1,11	1,06	1,02	0,99	0,94
5.	Bilangan oksidasi tertinggi	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	–
6.	Senyawa oksidasi tertinggi	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl_2O_7	–

No.	Sifat-sifat	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
7.	Ikatan oksida	Ion	Ion	Ion	Kovalen	Kovalen	Kovalen	Kovalen	-
8.	Senyawa basa/asam	NaOH	$Mg(OH)_2$	$Al(OH)_3$	H_2SiO_3	H_3PO_4	H_2SO_4	HClO	-
9.	Kekuatan basa/asam	Sangat kuat	Agak kuat	Amfoter	Sangat lemah	Lemah	Kuat	Sangat kuat	-

Jika dilihat dari kiri ke kanan maka:

1) Harga elektronegativitas unsur periode ketiga dari kiri ke kanan semakin besar. Hal ini berarti semakin mudah membentuk ion negatif dan semakin sukar membentuk ion positif.
2) Sifat nonlogamnya semakin kuat karena pengaruh sifat elektronegativitasnya yang semakin besar dan mudah membentuk ion negatif.
3) Jumlah elektron valensi semakin banyak.
4) Jari-jari atom semakin kecil sehingga semakin sukar melepaskan elektron (energi ionisasinya semakin besar). Pada tabel terjadi penyimpangan energi ionisasi yang ditunjukkan pada atom Al dan S. Penyimpangan ini terjadi karena orbital 3*p* pada atom Al dan orbital 3*p* pada atom S tidak terisi penuh. Hal ini menunjukkan sifatnya kurang stabil (energi ionisasinya lebih kecil) dibandingkan atom di dekatnya.

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan, etos kerja,** dan kalian dapat **berpikir kritis!**

Kegiatan 3.3

Sifat Unsur Periode Ketiga

Tujuan:

Menyelidiki beberapa sifat unsur-unsur periode ketiga dan senyawa-senyawanya.

Alat:

1. Kaca arloji
2. Pisau kertas
3. Penguji daya hantar listrik
4. Cawang porselin
5. Tabung reaksi dan rak
6. Sendok bakar
7. Penjepit logam/pinset
8. Erlenmeyer
9. Amplas
10. Pipet tetes
11. Alat pembakar
12. Spatula kaca
13. Kertas lakmus merah dan biru

Bahan:

1. Natrium (Na)
2. Lempeng Mg dan Al
3. Belerang (kristal dan serbuk)
4. Larutan natrium hidroksida (NaOH)
5. Larutan amonium sulfat
6. Asam sulfat
7. Larutan amonia
8. Air suling

Cara Kerja:

1. Sifat-sifat fisis
   a. Ambil sepotong natrium, potong sebagian dan amati permukaan yang dipotong. Bagaimana rupa permukaan itu? Uji daya hantar listriknya.
   b. Dengan cara yang sama, selidiki rupa, kekerasan, dan daya hantar listrik unsur-unsur Mg, Al, dan S.
2. Sifat-sifat kimia
   a. Reaksinya dengan air
      1) Reaksikan natrium dengan air yang telah ditetesi fenolftalein. Amati apa yang terjadi?
      2) Ulangi percobaan ini untuk unsur Mg, Al, dan S.
   b. Reaksi oksida magnesium dan oksida belerang dengan air
      1) Bakarlah sepotong pita magnesium dan masukkan abunya ke dalam air. Uji larutannya dengan lakmus.
      2) Bakarlah sedikit serbuk belerang dalam sendok bakar dan segera masukkan ke dalam labu erlenmeyer yang telah berisi sedikit air. Uji larutannya dengan lakmus.
   c. Reaksi aluminium hidroksida dengan asam dan basa
      Reaksikan sedikit larutan $Al_2(SO_4)_3$ 0,1 M dengan larutan amonia 2 M, tetes demi tetes sampai terjadi endapan. Bagi endapan dalam 2 tabung reaksi.
      1) Tambahkan larutan H_2SO_4 1 M tetes demi tetes ke dalam tabung pertama, amati hasilnya.
      2) Tambahkan larutan NaOH 2 M tetes demi tetes ke dalam tabung kedua, amati hasilnya.
   d. Masukkan kira-kira 2 mL larutan $Al_2(SO_4)_3$ 0,1 M ke dalam satu tabung reaksi. Tetesi larutan itu dengan larutan NaOH 2 M tetes demi tetes hingga berlebihan. Catat pengamatan kalian.

Hasil Pengamatan:

1. Sifat-sifat fisis

Sifat	Unsur			
	Na	Mg	Al	S
Rupa/kekerasan	.....	.....	.....	.....
Daya hantar listrik	.....	.....	.....	.....

2. Sifat-sifat kimia
   a. Reaksi dengan air
      $Na + H_2O$: .....
      $Mg + H_2O$: .....
      $Al + H_2O$: .....
      $S + H_2O$: .....
   b. Reaksi oksida magnesium dan oksida belerang dengan air
      $MgO + H_2O$: .....
      $SO_2 + H_2O$: .....
   c. Reaksi aluminium hidroksida dengan asam dan basa
      $Al(OH)_3 + H_2SO_4$: .....
      $Al(OH)_3 + NaOH$: .....
   d. Reaksi $Al_2(SO_4)_3 + NaOH$: .....

Pertanyaan:

1. Tuliskan persamaan reaksi percobaan tersebut!
2. Bagaimana ketentuan perubahan sifat-sifat unsur-unsur periode ketiga?

b. *Sifat Fisika Periode Ketiga*

Sifat fisik antara lain berupa titik leleh, titik didih, volume, dan daya hantar suatu zat. Data berikut adalah titik leleh dan titik didih unsur periode ketiga.

Tabel 3.14 Titik Leleh dan Titik Didih Unsur Periode Ketiga

Sifat	Unsur							
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
Titik leleh(°C)	97,8	650	660	1410	44,2	119	-101,0	-189,4
Titik didih(°C)	892	1170	2450	2680	280	445	-34,7	-185,8

Dari tabel tersebut diketahui bahwa unsur Na, Mg, Al, Si, P, dan S berwujud padat pada suhu ruangan karena unsur tersebut memiliki harga titik leleh dan titik didih di atas suhu ruangan (25°C). Unsur Cl dan Ar berwujud gas karena harga titik leleh dan titik didihnya di bawah suhu ruangan.

c. *Sifat Kimia Periode Ketiga*

1) Sifat Pereduksi dan Sifat Pengoksidasi

Jika dilihat dari kiri ke kanan, sifat pereduksi unsur-unsur periode ketiga semakin berkurang, sedangkan sifat pengoksidasinya semakin bertambah. Hal ini disebabkan harga energi ionisasi semakin besar, sehingga semakin sukar melepaskan elektron dan harga potensial reduksi standar yang semakin positif.

2) Sifat Logam dan Nonlogam

Logam bersifat menghantarkan listrik, padatannya dapat ditempa, cenderung membentuk ion positif dan permukaanya kilap khas logam, sedangkan nonlogam tidak memiliki sifat tersebut.

Dalam periode ketiga, unsur Na, Mg, dan Al termasuk unsur logam, sedangkan unsur P, S, dan Cl termasuk unsur nonlogam. Lain halnya dengan unsur Si yang merupakan unsur peralihan antara unsur logam dan nonlogam sehingga disebut unsur *metaloid* (semilogam), sedangkan Ar termasuk golongan gas mulia yang bersifat *inert* (sulit bereaksi). Sifat logam unsur-unsur periode ketiga dari kiri ke kanan semakin lemah.

3) Sifat Asam-Basa

Sifat asam berkaitan dengan sifat nonlogam, sedangkan sifat basa berkaitan dengan sifat logam. Hal ini karena sifat asam dan basa tergantung pada konfigurasi elektron dan harga ionisasi unsur-unsur tersebut.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 3.2

1. Bandingkan sifat asam HF dan HCl!
2. Dengan menggunakan harga potensial elektrodenya (E°) manakah reaksi yang dapat berlangsung:
   a. $F_2(aq) + Cl^-(aq)$
   b. $Cl_2(aq) + I^-(aq)$
   c. $Cl_2(aq) + F^-(aq)$
   d. $Br_2(aq) + Cl^-(aq)$

3. Bandingkan kereaktifan Ca dan Ba terhadap air! Tuliskan reaksinya!
4. Urutkan unsur-unsur periode ketiga berdasarkan kekuatan daya pereduksinya!
5. Bandingkan sifat pengoksidasi fluorin dan bromin! Mengapa demikian?

Serba-serbi Kimia

Dapatkah kalian membuat gas hidrogen dari bahan yang ada di sekitar kalian? Caranya adalah dengan mereaksikan logam seng yang diperoleh dari batu baterai dengan *accu zuur* (asam pengisi aki, H_2SO_4). Bagaimana cara mengetahui adanya gas hidrogen? Gas yang dihasilkan ditampung dalam balon karet, apabila balon tersebut berisi gas hidrogen maka ketika dibakar akan meledak. Gas hidrogen dapat digunakan untuk berbagai keperluan, antara lain bahan bakar roket, balon udara, dan reaksi-reaksi hidrogenasi. Reaksi hidrogenasi digunakan untuk pembuatan mentega.

C. Kegunaan dan Dampak Penggunaan Unsur/Senyawa

Berikut ini kegunaan dan dampak penggunaan beberapa unsur/senyawa.

1. Aluminium (Al)

Logam aluminium merupakan logam yang ringan, kuat, tahan korosi, mudah dibentuk, dan tidak reaktif. Hal ini disebabkan aluminium terlapisi dengan kuat oleh oksidanya sendiri (Al_2O_3) yang melindungi logam tersebut dari korosi lebih lanjut. Beberapa kegunaan aluminium antara lain:



Sumber: *CD Image*

Gambar 3.9 *Aluminium sebagai bahan pembuat pesawat*

a. Bahan pembuatan alat-alat dapur, misalnya panci dan sendok.
b. Bahan pembuatan pesawat terbang (Gambar 3.9) dan kendaraan bermotor.
c. Bahan pembuatan komponen bangunan gedung, seperti kusen, pintu, dan jendela.
d. *Velg* ban mobil.

e. Lembaran tipis aluminium (*aluminium foil*) untuk kemasan makanan dan alat-alat bantu di laboratorium.
f. Logam pencampur, misalnya untuk alnico (50% (*b*/*b*) Fe, 20% (*b*/*b*) Al, 20% (*b*/*b*) Ni, dan 10% (*b*/*b*) Co) yang merupakan magnet dengan daya tarik sangat kuat.
g. Bahan pembuatan kabel listrik/jaringan transmisi tegangan tinggi karena aluminium memiliki daya hantar yang baik dan kerapatannya lebih kecil dari tembaga.
h. Penjernih air dalam bentuk tawas (aluminium sulfat) dan PAC (*Polialuminium Chloride*).
i. Obat sakit maag dalam bentuk senyawa aluminium hidroksida ($Al(OH)_3$) yang dapat menetralkan kelebihan asam lambung.

Dampak aluminium bagi lingkungan adalah timbulnya sampah kaleng dan sampah pembungkus aluminium (*aluminium foil*) yang sulit diuraikan oleh lingkungan karena aluminium adalah logam yang stabil. Cara untuk menekan tingkat pencemaran aluminium dengan melakukan proses daur ulang.

Dampak lainnya pada proses pembuatan aluminium yang diperoleh dari proses elektrolisis. Proses ini menghasilkan uap asam fluorida (HF) dari pemanasan lelehan kriolit. Uap ini dapat menimbulkan kelumpuhan dan kematian. Cara untuk mengatasinya adalah dengan mengklorinasi aluminium menggunakan gas klorin. Hasil yang diperoleh adalah $AlCl_3$ yang mudah dicairkan, sehingga dalam pembuatan aluminium tidak perlu menggunakan kriolit cair lagi.

2. Silikon (Si)

Silikon murni banyak dimanfaatkan sebagai semi konduktor dalam peralatan elektronik, seperti komputer, kalkulator, radio, dan sel solar (baterai energi matahari).

Senyawa silikon organik banyak dikenal sebagai *siloksan* $(C_6H_5)_3SiO.Si(C_6H_5)_3$ dan *silan*. Senyawa tersebut dimanfaatkan dalam operasi plastik (Gambar 3.10), pelarut, pembersih, bahan pengkilap (semir sepatu), dan lain-lain.



Sumber: *www.med.nus.edu.sg*

Gambar 3.10 *Silikon digunakan untuk operasi plastik di rumah sakit*

Kegunaan silikon yang lain yaitu untuk silika gel yang berfungsi menyerap uap air karena bersifat higroskopis (mudah menyerap air). Biasanya untuk mengurangi kelembapan pada peralatan kamera, peralatan laboratorium, dan kemasan obat-obatan. Manfaat silikon yang lain adalah untuk membuat kaca atau gelas.

Silikon di alam sebenarnya tidak mempunyai dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan. Namun, karena banyak disalah-gunakan oleh manusia maka menimbulkan suatu kerugian. Misalnya polimer silikon $(SiCH_3)n$, digunakan untuk mengubah bentuk jaringan hidung, bibir, dan payudara pada wanita. Padahal silikon dalam bentuk unsur maupun senyawanya bersifat tidak larut dalam air, sehingga tindakan seperti itu lambat laun akan merusak jaringan tubuh.

3. Besi (Fe)

Logam besi paling banyak penggunaannya di bumi ini. Di antaranya untuk membuat konstruksi jembatan, badan kendaraan (kereta api dan mobil), rel kereta api, dan konstruksi bangunan lainnya. Kegunaan dalam bentuk logam campuran di antaranya adalah:

a. Stainless Steel

Merupakan bahan yang sukar berkarat, mengkilat, dan kuat. Stainless steel dengan komposisi 72% (*b*/*b*) besi 19% (*b*/*b*) krom, dan 9% (*b*/*b*) nikel mempunyai sifat kuat, ulet, dan tahan karat. Banyak dimanfaatkan untuk peralatan rumah tangga seperti pisau dapur, sendok, dan panci.

b. Baja Nikel

Bahan ini bersifat keras dan alot/liat. Merupakan campuran 75% (*b*/*b*) Fe dan 25% (*b*/*b*) Ni. Bahan ini dapat digunakan untuk membuat kawat dan senjata.

Manfaat dalam bentuk senyawa di antaranya adalah:

a. *Senyawa* $FeSO_4$, dimanfaatkan untuk terapi defisiensi atau kekurangan zat besi. Senyawa $FeSO_4$ teknis (kurang murni) digunakan untuk membuat tinta bubuk.

b. *Senyawa* $Fe_2(SO_4)_3$, dimanfaatkan untuk pewarnaan tekstil dan pengetsaan aluminium.

c. *Senyawa FeO*, dikenal dengan meni besi atau oker. Senyawa ini banyak digunakan untuk pewarna tegel atau ubin.

Besi adalah logam yang mudah berkarat atau mengalami korosi, sehingga bersifat rapuh dan berwarna kuning kecokelatan. Jika mengenai pakaian akan berwarna kuning dan sulit dibersihkan.

Air minum yang mengandung besi melebihi ambang batas dapat mengganggu fungsi ginjal. Ambang batas kadar besi dalam air adalah 0,3 bpj.

4. Kromium (Cr)

Unsur krom dapat digunakan sebagai pelapis bumper mobil. *Stainless steel* merupakan campuran baja dan krom, yang bersifat mengkilap dan pelindung dari korosi. Senyawa krom, yakni $Na_2Cr_2O_7.2H_2O$ digunakan untuk menyamak kulit, dan $PbCrO_4$ untuk pigmen kuning krom serta Cr_2O_3 untuk hijau krom.

Etanol dapat mereduksi ion bikromat, $Cr_2O_7^{2-}$ (berwarna jingga), menjadi ion krom(III) (berwarna hijau). Sifat tersebut digunakan untuk uji pernapasan dalam mendeteksi pemabuk. Jamrud adalah permata yang terbentuk jika sebagian ion aluminium dalam beril, $BeAl_2(Si_6O_{18})$, diganti ion krom(III).

Logam kromium mempunyai manfaat sebagai berikut:

a. *Senyawa kromium(II) oksida (CrO)*, digunakan sebagai pewarnaan dalam percetakan, industri tekstil, dan keramik.
b. *Senyawa kromium(III) klorida ($CrCl_3$)*, digunakan sebagai zat pewarna hijau dalam pembuatan keramik.
c. *Senyawa kromium(III) sulfat ($Cr_2(SO_4)_3$)*, digunakan untuk keperluan pelapisan atau penyepuhan logam. Misalnya penyepuhan logam untuk rangka atau mesin kendaraan bermotor. Senyawa ini juga digunakan sebagai pewarna dalam industri tekstil dan keramik.

Dampak negatif dapat timbul jika kromium dalam bentuk limbah seperti limbah dalam industri percetakan, limbah keramik, limbah tekstil, dan limbah cat, tidak dikelola dengan baik. Ion Cr^{6+} sangat berbahaya karena bersifat karsinogenik. Kadar maksimumnya dalam air sebesar 0,05 bpj.

5. Tembaga (Cu)

Tembaga adalah logam yang dapat menghantarkan listrik dengan baik sehingga dimanfaatkan untuk kabel dan komponen berbagai alat listrik (Gambar 3.11). Di samping itu, tembaga bersifat mudah ditempa sehingga banyak digunakan untuk membuat kerajinan dan karya seni. Dalam bentuk campuran (aliase) dimanfaatkan untuk membuat *perunggu* (90% (*b*/*b*) tembaga dan 10% (*b*/*b*) timah) dan *monel* (70% (*b*/*b*) nikel dan 30% (*b*/*b*) tembaga).



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 3.11 *Peralatan listrik terbuat dari tembaga*

Air minum yang mengandung kadar logam tembaga melebihi batas maksimum (1 bpj) dapat menimbulkan kerongkongan kering, mual-mual, diare yang terus menerus, dan iritasi pada lambung.

6. Belerang (S)

Penggunaan utama dari belerang adalah untuk pembuatan asam sulfat. Selain itu dengan sedikit belerang, kita dapat melakukan vulkanisasi karet untuk industri ban kendaraan.

Belerang dapat membentuk senyawa berbahaya yaitu gas hidrogen sulfida (H_2S). Senyawa ini memiliki bau yang sangat menyengat seperti telur busuk.

Belerang juga mudah terbakar dan menghasilkan gas belerang dioksida (SO_2). Gas ini dapat menyesakkan pernapasan dan menimbulkan gejala batuk. Dalam jumlah besar, dapat merusak saluran pernapasan dan menimbulkan radang tenggorokan serta kerusakan paru-paru, bahkan kematian. Pada tumbuhan, gas ini menyebabkan noda cokelat dan kerontokan pada daun. Gas ini dapat teroksidasi membentuk belerang trioksida.

Senyawa belerang trioksida merupakan oksida yang dapat larut dalam air membentuk asam sulfat. Air hujan yang mengandung asam sulfat ini menjadi bersifat asam sehingga dikenal sebagai *hujan asam*.

Beberapa efek yang cukup berbahaya akibat terjadinya hujan asam adalah matinya ikan-ikan di danau, kerusakan hutan, tingginya keasaman tanah, serta kerusakan bangunan yang terbuat dari marmer. Bagaimana cara mengatasi kerusakan hutan karena hujan asam? Diskusikan dengan teman kalian!

7. Karbon

Unsur karbon yang sering digunakan dalam kehidupan adalah dalam bentuk *intan* (indah dan keras), *amorf* (berwana hitam dan rapuh), dan *grafit* (kristal berlapis-lapis dan berbentuk heksagonal simetris). Intan banyak dimanfaatkan untuk perhiasan. Di samping itu, karena bentuknya yang sangat keras maka dimanfaatkan untuk mata bor dan alat pemotong dalam penambangan minyak. Amorf banyak dimanfaatkan untuk bahan bakar (batu bara), zat warna hitam, tinta cetak, dan sebagai pereduksi pada proses peleburan logam. Manfaat lain amorf adalah untuk karbon aktif dan obat sakit perut (norit), sedangkan grafit banyak digunakan untuk bahan pembuatan pensil, zat warna untuk cat hitam, elektroda pada batu baterai, pelumas kering, pembuatan baja dan batu bata tahan api.

Karbon juga memiliki dampak pada lingkungan. Kalian pasti sering melihat asap hitam pada knalpot mobil atau cerobong pabrik, bukan? Asap itu adalah partikel-partikel karbon berbentuk padat yang larut dalam udara. Di samping itu, pembakaran senyawa karbon juga menghasilkan gas karbon monoksida (CO) dan karbon diokskida (CO_2). Gas CO tidak berwarna dan tidak berbau, namun sangat berbahaya karena mudah mengikat hemoglobin, sehingga tubuh kekurangan oksigen. Akibatnya menimbulkan sakit kepala, cepat lelah, sesak napas, pingsan, bahkan kematian. Gas CO_2 semakin hari semakin bertambah banyak. Hal ini menyebabkan pemanasan global di bumi.

8. Nitrogen

Manfaat gas nitrogen (N_2) di antaranya adalah untuk mengisi bola lampu. Dalam industri, digunakan untuk mengusir O_2 dalam larutan injeksi dan mengusir O_2 dalam makanan berlemak atau berminyak agar tidak cepat tengik. Di samping itu, bisa juga ditambahkan pada roti agar tidak cepat berjamur.

Dalam bentuk senyawa seperti amonia, amonium nitrat, amonium sulfat, amonium fosfat, dan urea sering digunakan untuk bahan baku pembuatan pupuk nitrogen.

Kita mengenal berbagai macam pupuk nitrogen, tetapi yang paling banyak digunakan adalah urea dan ZA. Kadar nitrogen dalam berbagai jenis pupuk nitrogen dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.15 Kadar Nitrogen dalam Berbagai Jenis Pupuk

No.	Nama Pupuk	Rumus Kimia	Kadar Nitrogen
1.	Urea	$CO(NH_2)_2$	45 – 46%
2.	ZA	$(NH_4)_2SO_4$	20,5 – 21%
3.	Sendawa chili	$NaNO_3$	14%
4.	Amonium nitrat	NH_4NO_3	35%

Selain untuk pupuk, masing-masing senyawa tersebut punya manfaat lain. Amonium nitrat untuk bahan peledak dalam dunia pertambangan, amonium fosfat untuk mencegah terbakarnya kayu dan kertas, sedangkan urea untuk bahan makanan tambahan hewan pemamah biak, bahan tambahan untuk industri plastik melamin, resin, dan bahan *anticut* pada tekstil. Senyawa lainnya adalah asam nitrat yang digunakan sebagai pelarut dan dalam proses fotografi.

Sebenarnya nitrogen tidak mempunyai dampak bagi lingkungan. Namun karena adanya petir dan suhu tinggi, maka nitrogen dapat bereaksi dengan oksigen membentuk NO_2. Gas ini memerihkan mata dan menimbulkan gangguan saluran pencernaan. Jika terlarut dalam air hujan dapat menyebabkan *eutrofikasi* (berlebihnya zat-zat hara pada air). Akibatnya timbul "ledakan" ganggang atau enceng gondok yang akhirnya persediaan oksigen dalam air berkurang sehingga banyak ikan mati. Dalam bentuk gas amonia (NH_3) bisa menimbulkan bau yang sangat menyengat dan menyesakkan pernapasan.

9. Oksigen (O_2)

Oksigen bermanfaat sekali bagi manusia. Tanpa oksigen, maka tak akan pernah ada kehidupan di bumi ini. Dalam industri, oksigen dimanfaatkan dalam pembuatan baja dari besi dengan tanur terbuka (tanur oksigen). Di samping itu juga untuk membersihkan kerak besi dan menghaluskan tonjolan-tonjolan pada produk baja. Oksigen juga juga berperan dalam pengobatan di rumah sakit, pembakaran logam, aerasi limbah industri, dan masih banyak lagi manfaat yang lain. Di alam, oksigen dalam bentuk ozon bermanfaat sebagai pelindung dari radiasi sinar ultraviolet. Di industri ozon bermanfaat sebagai bahan pemutih dan pembunuh mikroorganisme.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 3.3

1. Aluminium adalah salah satu logam yang banyak dimanfaatkan oleh manusia. Sebutkan kegunaan logam aluminium (minimal 3) dan jelaskan mengapa logam aluminium tahan karat walaupun termasuk logam aktif!
2. Sebutkan contoh logam paduan yang terbuat dari tembaga dan jelaskan kegunaannya!
3. Salah satu senyawa silikon yang penting adalah silikat dan siloksan. Jelaskan apa yang dimaksud senyawa silikat dan senyawa siloksan itu, dan sebutkan kegunaannya masing-masing!
4. Jelaskan bagaimana terjadinya hujan asam dan mengapa dianggap berbahaya!
5. Pupuk banyak mengandung nitrogen. Apa manfaat nitrogen yang lain dalam kehidupan?

D. Pembuatan Unsur dan Senyawanya

Unsur kimia dan senyawanya dapat dibuat di laboratorium dan industri.

1. Pembuatan Aluminium (Al)

Pembuatan logam aluminium saat ini biasanya dilakukan melalui 2 tahap, yaitu:

a. Proses Pemurnian Bauksit menjadi Alumina

Caranya dengan menghaluskan bauksit terlebih dahulu, kemudian melarutkan bauksit kotor tersebut dengan larutan NaOH. Senyawa Al_2O_3 akan larut menjadi $NaAlO_2$ (natrium aluminat), sedangkan pengotornya yang berupa silika (SiO_2), besi oksida (Fe_2O_3) dan titanium(IV) oksida (TiO_2) yang tidak larut disaring. Reaksinya:

$$Al_2O_3(s) + 2NaOH(aq) + 3H_2O(l) \rightarrow 2Na[Al(OH)_4](aq)$$

Aluminium diendapkan dari fitrat dengan mengalirkan gas CO_2 dan pengenceran.

$$2Na[Al(OH)_4](aq) + CO_2(g) \rightarrow 2Al(OH)_3(s) + Na_2CO_3(aq) + H_2O(l)$$

Endapan $Al(OH)_3$ disaring, dikeringkan kemudian dipanaskan (untuk menghilangkan pelarutnya) sehingga didapat Al_2O_3 murni.

$$2Al(OH)_3(s) \rightarrow Al_2O_3(s) + 3H_2O(g)$$

b. Proses Elektrolisis Leburan Alumina (Proses Hall-Heroult)

Alumina merupakan senyawa dengan titik leleh yang sangat tinggi yaitu lebih dari 2000°C. Keadaan tersebut menyebabkan elektrolisis lelehan Al_2O_3 murni tidak ekonomis. Karena itu, dalam proses Hall-Heroult alumina (Al_2O_3) kering diubah menjadi bentuk lelehannya dalam kriolit (Na_3AlF_6) cair. Cara tersebut membuat elektrolisis bisa berlangsung pada suhu 950°C. Kriolit tersebut berfungsi untuk menurunkan titik leleh Al_2O_3. Tempat untuk mereaksikan aluminium berupa bejana baja berlapis grafit yang berfungsi sebagai katoda, sedangkan anodanya berupa batang grafit.

Reaksi leburan alumina adalah sebagai berikut:

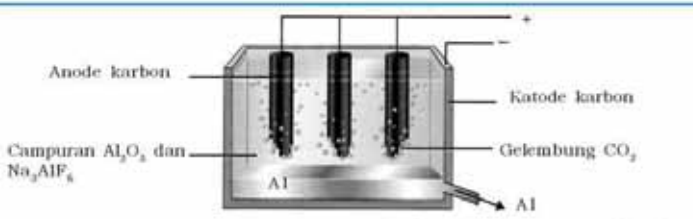
$$Al_2O_3(l) \rightarrow 2Al^{3+}(l) + 3O^{2-}(l)$$

Katode : $Al^{3+}(l) + 3e^- \rightarrow Al(l)$

Anode : $2O^{2-}(l) \rightarrow O_2(g) + 4e^-$

$$C(s) + 2O^{2-}(l) \rightarrow CO_2(g) + 4e^-$$

Proses Hall-Heroult ditunjukkan pada Gambar 3.12 berikut.



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar 1*

Gambar 3.12 *Proses Hall – Heroult*

2. Pembuatan Oksigen (O_2)

Pembuatan oksigen ada dua macam yaitu skala laboratorium dan skala industri. Masing-masing pembuatan mempunyai proses yang tidak sama.

a. *Pembuatan Oksigen Skala Industri*

Pembuatan ini dengan cara distilasi udara cair. Udara yang mengandung 21% oksigen dan 78% nitrogen didinginkan pada tekanan tinggi sampai suhu –200°C sehingga terbentuklah cairan. Kedua zat dalam udara cair tersebut menguap pada suhu yang berbeda. Jika dipanaskan maka akan terpisah. Nitrogen akan menguap pada suhu –195,8°C, sedangkan oksigen akan menguap pada suhu –183°C. Akhirnya diperoleh gas oksigen yang diperlukan.

b. *Pembuatan Oksigen Skala Laboratorium*

Pembuatan oksigen skala laboratorium diperoleh dengan memanaskan oksidanya seperti $KClO_3$, HgO_3, dan BaO_2.

$$2KClO_3(s) \rightarrow 2KCl(s) + 3O_2(g)$$
$$2HgO_3(s) \rightarrow 2Hg(s) + 3O_2(g)$$
$$2BaO_2(s) \rightarrow 2BaO(s) + O_2(g)$$

Cara lainnya adalah dengan mengelektrolisis larutan garam alkali nitrat atau alkali sulfat. Oksigen diperoleh di anode.

Reaksinya adalah sebagai berikut:

$$NaNO_3(aq) \rightarrow Na^+(g) + NO_3^-(aq)$$
Katode (Pt) : $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow 2OH^- + 2H_2(g)$
Anode (Pt) : $2H_2O(l) \rightarrow 4e^- + 4H^+ + O_2(g)$

3. Pembuatan Nitrogen (N_2)

Pembuatan nitrogen ada dua macam, yaitu skala laboratorium dan skala industri. Prosesnya adalah sebagai berikut.

a. *Pembuatan Nitrogen Skala Industri*

Prosesnya sama dengan pembuatan oksigen, dilakukan dengan cara distilasi udara cair. Udara yang mengandung 21% oksigen dan 78% nitrogen tersebut didinginkan pada tekanan tinggi hingga suhu –200°C dan terbentuklah cairan. Kedua zat dalam udara cair tersebut menguap pada suhu yang berbeda, maka jika dipanaskan akan terpisah. Nitrogen akan menguap pada suhu –195,8°C, sedangkan oksigen akan menguap pada suhu –183°C. Akhirnya diperoleh gas nitrogen yang diperlukan.

b. *Pembuatan Nitrogen Skala Laboratorium*

Pembuatan oksigen dalam skala laboratorium diperoleh dengan memanaskan senyawa azida, seperti natrium azida (NaN_3) dan barium azida ($Ba(N_3)_2$) yang menghasilkan natrium dan gas nitrogen.

Cara lainnya adalah dengan memanaskan secara perlahan-lahan larutan amonium nitrit (NH_4NO_2). Amonium nitrit ini diperoleh dari reaksi antara natrium nitrit dan amonium klorida.

$$NaNO_2(aq) + NH_4Cl(aq) \xrightarrow{\text{Pemanasan}} NH_4NO_2(aq) + NaCl(aq)$$
$$NH_4NO_2(aq) \xrightarrow{\text{Pemanasan}} 2H_2O(l) + N_2(g)$$

4. Pembuatan Amonia (NH_3)

Pembuatan amonia juga ada dua macam, yaitu skala laboratorium dan skala industri. Prosesnya adalah sebagai berikut.

a. *Pembuatan Amonia Skala Industri*

Proses pembuatannya menggunakan proses **Haber-Bosch** yaitu menggunakan bahan baku gas nitrogen dan gas hidrogen.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \quad \Delta H = -92{,}2 \text{ kJ}$$

b. *Pembuatan Amonia Skala Laboratorium*

Caranya dengan mereaksikan garam amonium klorida dengan basa kuat atau oksida basa dengan reaksi sebagai berikut.

$NH_4Cl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NH_3(g) + NaCl(aq) + H_2O(l)$

Amonium klorida — Natrium hidroksida — Amonia — Natrium klorida — Air

$2NH_4Cl(aq) + CaO(s) \rightarrow 2NH_3(g) + CaCl_2(aq) + H_2O(l)$

Amonium klorida — Kalsium oksida — Amonia — Kalsium klorida — Air

Gas amonia bersifat basa, sehingga dapat dideteksi dengan menggunakan kertas lakmus merah, yang akan mengubahnya menjadi biru.

5. Pembuatan Asam Sulfat (H_2SO_4)

Beberapa sifat H_2SO_4 adalah zat cair kental, tak berwarna, dan terurai menjadi SO_3 dan H_2O bila dipanaskan. Reaksinya dengan air sangat eksoterm, sehingga pada pengenceran H_2SO_4 pekat sedikit demi sedikit zat tersebut dituangkan ke dalam air dan bukan sebaliknya. H_2SO_4 merupakan asam sehingga bersifat korosif dan oksidator kuat. Afinitasnya yang besar menyebabkan H_2SO_4 pekat efektif sebagai dehidrator.

Kegunaan H_2SO_4 di antaranya adalah untuk industri logam, membersihkan minyak bumi, reaksi kimia pada industri zat warna, bahan peledak, plastik, serat buatan, obat-obatan, detergen, pupuk, dan untuk mengisi aki. Pembuatan asam sulfat ada dua, cara yaitu dengan menggunakan proses kontak dan proses bilik timbal. Apakah perbedaan kedua proses tersebut?

a. Pembuatan Asam Sulfat dengan Proses Kontak

Langkah pertama dalam proses kontak adalah membakar belerang untuk memperoleh belerang dioksida (SO_2).

$$S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$$

Senyawa SO_2 yang terbentuk tersebut, kemudian direaksikan dengan O_2 untuk menghasilkan SO_3 dengan menggunakan katalis vanadium pentaoksida (V_2O_5).

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightleftharpoons{\text{katalis } Pt/V_2O_5} 2SO_3(g)$$

Gas SO_3 ini kemudian dilarutkan dalam asam sulfat pekat (98 – 99%) sehingga dihasilkan asam pirosulfat ($H_2S_2O_7$) yang disebut *oleum*.

$$SO_3(g) + H_2SO_4(l) \rightarrow H_2S_2O_7(l)$$

Asam pirosulfat ini selanjutnya direaksikan dengan air dan hasilnya diperoleh asam sulfat pekat dengan air dan hasilnya diperoleh asam sulfat pekat dengan kadar 98% massa.

$$H_2S_2O_7(l) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(aq)$$

Asam sulfat yang diperoleh jumlahnya cukup besar dengan kemurnian yang tinggi pula. Akan tetapi memiliki kelemahan yaitu harus menggunakan peralatan yang khusus dan biaya proses yang tinggi, akibatnya harga produk mahal.

b. *Pembuatan Asam Sulfat dengan Proses Bilik Timbal*

Proses ini disebut bilik timbal karena dilakukan dalam wadah atau bilik berlapis timbal. Fungsi dari bilik ini adalah untuk menampung H_2SO_4 yang dihasilkan. Asam sulfat yang dihasilkan berkadar 77%. Katalis yang digunakan dalam proses ini adalah katalis *uap nitrosa* (NO dan NO_2) yang dihasilkan kembali secara terus-menerus selama proses ini berlangsung. Adapun reaksinya adalah sebagai berikut:

$$S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$$
$$NO(g) + \tfrac{1}{2}O_2(g) \rightarrow NO_2(g)$$
$$SO_2(g) + NO_2(g) \rightarrow SO_3(g) + NO(g)$$
$$SO_3(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(aq)$$

Proses ini efektif untuk menghasilkan produk dengan kemurnian yang tidak terlalu tinggi. Keuntungan dari proses ini adalah peralatan yang digunakan cukup sederhana dan biaya produksi rendah sehingga harga produk dapat ditekan.

6. Pembuatan Besi (Fe)

Umumnya besi dipisahkan dari hematit (Fe_2O_3) atau magnetit (Fe_3O_4). Pemisahan besi ini dilakukan di dalam tanur tinggi atau tanur sembur (*blast furnace*). Bahan yang digunakan untuk membantu pengolahan besi adalah kokas (C) dan batu kapur ($CaCO_3$). Kokas berfungsi sebagai reduktor, sedangkan batu kapur untuk *fluks* atau bahan yang bereaksi dengan pengotor menjadi *terak/slag* (cairan kental).

Langkah pertama yaitu kokas dimasukkan ke tanur, sedangkan dari bagian bawah tanur disemburkan udara panas di atas 1000°C yang akan membakarnya menjadi CO_2.

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + \text{kalor}$$

Gas CO_2 yang terbentuk, bereaksi lagi dengan kokas yang masih dijatuhkan dari atas tanur, sehingga membentuk CO.

$$CO_2(g) + C(s) \rightarrow 2CO(g)$$



Sumber: www.wolverhamptonhistory.org.uk

Gambar 3.13 *Tanur tinggi*

CO inilah yang mereduksi bijih secara bertahap, sehingga diperoleh Fe yang diinginkan.

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$$
$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$$
$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$$

Besi yang dihasilkan disebut *besi tuang* dengan kadar besi 95%, karbon 4%, serta bahan pengotor yang lain. Besi ini sangat keras tetapi rapuh. Agar dapat dimanfaatkan, maka besi tuang ini diubah menjadi baja atau besi lunak dengan mengurangi kadar karbonnya. Baja adalah besi dengan kadar karbon 1 – 4% dan kadang ditambah logam lain untuk memberi sifat khusus.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan akademik** dan mengetahui sejauh mana pemahaman materi kalian!

Tugas 3.4

1. Apa fungsi kokas, batu kapur, dan pasir silika dalam proses pemisahan besi dengan tanur tinggi?
2. Jelaskan perbedaan pembuatan H_2SO_4 melalui proses kontak dan proses bilik timbal! Jelaskan keuntungan dan kerugian tiap-tiap proses tersebut!
3. Aluminium diperoleh dari elektrolisis leburan Al_2O_3(bauksit). Tulis reaksi yang terjadi pada elektrolisis tersebut! Bila 0,5 ton bauksit yang murni (Al_2O_3) dielektrolisis, berapa kg aluminium yang dihasilkan? (A_r = 27, O = 16)
4. Gas nitrogen sering digunakan untuk menjaga kondisi inert. Bagaimana cara membuat gas nitrogen ini dalam industri?
5. Apa saja faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan amonia? Bagaimana caranya agar proses pembuatan amonia tersebut berlangsung secara efisien?

E. Unsur-unsur Radioaktif

Unsur radioaktif adalah unsur yang dapat memancarkan sinar radioaktif. Unsur tersebut dapat menembus lempengan logam yang tipis, menghitamkan plat film, dan dapat diuraikan oleh medan magnet.

1. Nuklida

Dalam mempelajari unsur radioaktif muncul istilah nuklida. Nuklida didefinisikan sebagai suatu spesies nuklir tertentu, misalnya ${}^{12}_{6}C$, ${}^{14}_{7}N$, ${}^{16}_{8}O$, dan sebagainya. Simbol suatu nuklida secara umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} \text{ atau } X^{A}_{Z\,N} $$

Keterangan:

Z = nomor atom

A = nomor massa = jumlah proton + neutron

Nilai N biasanya tidak dituliskan karena $N = A - Z$

Berdasarkan kesamaan dalam nilai A, Z, dan N, nuklida-nuklida dapat digolongkan menjadi empat tipe, yaitu:

a. Isotop

Kelompok nuklida dengan Z sama. Contoh: ${}^{204}_{82}Pb$, ${}^{206}_{82}Pb$, ${}^{207}_{82}Pb$, ${}^{208}_{82}Pb$. Semuanya adalah isotop Pb dengan Z = 82.

b. Isobar

Kelompok nuklida dengan A sama. Contoh: ${}^{14}_{6}C$, ${}^{14}_{7}N$, ${}^{14}_{8}O$. Jumlah nukleon 14, atau A = 14.

c. Isoton

Kelompok nuklida dengan netron sama, N sama. ${}^{3}_{1}H$ dan ${}^{4}_{2}He$ adalah isoton, masing-masing mempunyai dua netron atau N = 2.

d. Isomer Inti

Nuklida dengan A dan Z sama tetapi berbeda dalam tingkat energinya. Contoh: ${}^{60m}Co$ dan ${}^{60}Co$.

Info Kimia

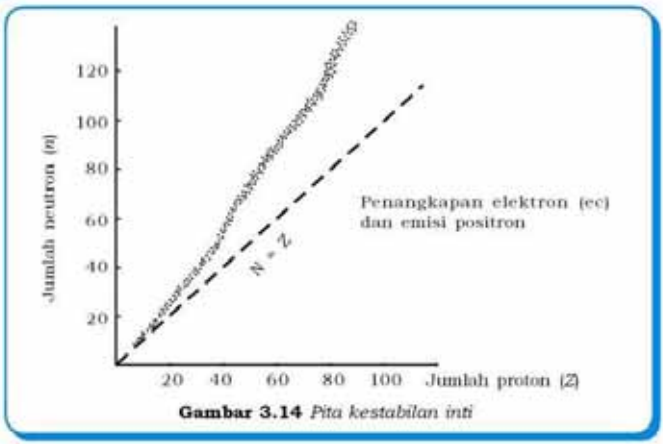
Pada tahun 1896, Antoine Henri Becquerel (1852 – 1908) mengamati garam uranium, $K_2UO_2(SO_4)_2$ (kalium uranil sulfat) dapat memancarkan radiasi dan dapat menembus kertas hitam yang meliputi pelat fotografi. Radiasi ini disebut sinar radioaktif, sedangkan unsur yang menghasilkan sinar radioaktif disebut unsur radioaktif.

Pada tahun 1898, suami istri Marie Curie (1867 – 1934) dan Piere Curie (1859 – 1908) berhasil mengisolasi dua unsur baru, yaitu polonium dan radium dari unsur radioaktif uranium. Ketiga ilmuwan tersebut mendapat hadiah nobel karena jasa-jasanya dalam penelitian keradioaktifan.

Dalam nuklida yang netral, jumlah proton sama dengan jumlah elektron. Sedangkan jumlah neutron tergantung pada massa relatif atom yang bersangkutan. Pada perkembangan lebih lanjut terlihat komposisi inti yang disebut dengan istilah nukleon sangat berpengaruh terhadap kestabilan inti. Nuklida dengan angka banding jumlah neutron dan proton

sama dengan satu ($\frac{n}{p}=1$) merupakan nuklida yang stabil. Nuklida paling stabil adalah inti yang mempunyai nomor atom Z sampai 20, karena memiliki nilai $\frac{n}{p}=1$.

Apabila nuklida-nuklida stabil dihubungkan, maka akan diperoleh pita kestabilan inti. Nuklida-nuklida yang berada di luar pita kestabilan akan meluruh sedemikian rupa sehingga mencapai pita kestabilan.



Gambar 3.14 *Pita kestabilan inti*

Selain perbandingan tersebut, kestabilan nuklida juga dapat dilihat dari hukum genap ganjil. Perhatikan tabel berikut!

Tabel 3.16 Kestabilan Nuklida

Jenis Nuklida	Jumlah Nuklida Stabil
Z (proton) genap, N (netron) genap	165
Z genap, N ganjil	55
Z ganjil, N genap	50
Z ganjil, N ganjil	4

Dari fakta tersebut terlihat bahwa urutan kestabilan inti relatif adalah:
Z genap, N genap > Z genap, N ganjil > Z ganjil, N genap > Z ganjil, N ganjil.
Inti yang stabil menghendaki jumlah proton dan neutron tetap.

Suatu inti (nuklida) dikatakan bersifat radioaktif karena ia mengalami peluruhan spontan yang disertai dengan pemancaran radiasi. Karena komposisi radionuklida yang satu dengan yang lainnya berbeda, maka cara peluruhan suatu radionuklida tergantung pada jenis ketidakstabilannya. Jenis radiasi yang dipancarkan dari peluruhan zat radioaktif adalah:

a. Partikel alfa, α.
b. Positron, β^+.
c. Negatron (beta), β^-.
d. Radiasi elektromagnetik, sinar γ.
e. Neutron, ${}^1_0n$.

Contoh:

${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$ (memancarkan sinar β)

${}^{5}_{2}He \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$ (memancarkan neutron)

${}^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{0}_{1}e$ (memancarkan positron)

${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$ (melepaskan sinar α)

Tabel 3.17 Sifat Radiasi dan Partikel Dasar Penyusun Inti

Partikel Dasar	Massa Relatif	Muatan	Simbol	Jenis
Alfa	4	+2	α, ${}^4_2He$	Partikel
Negatron (beta)	0	−1	β^-, ${}^0_{-1}e$	Partikel
Positron	0	+1	β^+, ${}^0_1e$	Partikel
Gamma	0	0	γ	Gelombang elektromagnetik
Proton	1	+1	${}^1_1p$, ${}^1_1H$	Partikel
Neutron	1	0	${}^1_0n$	Partikel

Sinar alfa (α) merupakan inti helium yang bermuatan positif. Daya ionisasi paling besar tetapi daya tembus paling kecil. Sinar beta (β) merupakan partikel elektron yang bermuatan negatif. Daya ionisasi lebih kecil tetapi daya tembus lebih besar daripada sinar α. Sinar gamma (γ) tidak bermuatan. Daya ionisasi paling kecil tetapi daya tembus paling besar.

Berdasarkan pada kestabilan dan proses pembentukannya di alam, nuklida dapat dikelompokkan menjadi lima, yaitu:

a. Nuklida Stabil

Yaitu nuklida yang secara alamiah tidak mengalami perubahan A maupun Z (tidak meluruh). Contoh: ${}^1_1H$, ${}^{12}_6C$, ${}^{14}_7N$.

b. Radionuklida Alam Primer

Radionuklida alam primer yaitu nuklida yang terbentuk secara alamiah dan bersifat radioaktif. Radionuklida ini dinamakan primer karena ia mempunyai waktu paruh yang demikian panjang sehingga pada waktu sekarang masih bisa ditemukan. Waktu paruh ($t_{½}$) adalah waktu yang diperlukan oleh unsur radioaktif untuk meluruh menjadi separuh (setengah) dari jumlah semula.Contoh: $^{238}_{92}U$ mempunyai waktu paruh = $4,5 \times 10^{9}$ tahun.

c. Radionuklida Alam Sekunder

Nuklida ini radiaktif dan dapat ditemukan di alam. Radionuklida ini mempunyai waktu paruh pendek, sehingga sebenarnya sudah tidak akan ditemukan di alam lagi. Tetapi ia masih ada di alam karena dapat dibentuk secara kontinu oleh rakdionuklida alam primer, misalnya $^{234}_{90}Th$ mempunyai waktu paruh 24 hari, tetapi ia dapat dibentuk secara kontinu dengan persamaan $^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$.

d. Radionuklida Alam Terinduksi

Misalnya $^{14}_{6}C$ yang dibentuk karena interaksi sinar kosmik dan nuklida $^{14}_{7}N$ di atmosfer.

e. Radionuklida Buatan

Merupakan radionuklida yang terbentuk tidak secara alamiah, tetapi merupakan hasil pekerjaan manusia di laboratorium. Jumlah radionuklida buatan ini kian hari bertambah banyak dan sekarang sudah jatuh melampaui jumlah nuklida yang terdapat di alam.

2. Aplikasi Unsur Radioaktif

Unsur-unsur radioaktif bisa digunakan untuk berbagai kepentingan manusia, bukan untuk disalahgunakan sebagai bom atom dan rudal yang merusak.

a. Reaksi Inti

Reaksi inti (reaksi fisi dan reaksi fusi) sebagai sumber penghasil energi untuk pembangkit tenaga listrik. Reaksi fisi adalah peristiwa terpecahnya inti berat (dengan nomor massa besar) menjadi inti sedang dibarengi pembebasan energi yang besar. Contoh:

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{236}_{92}U \rightarrow {}^{90}Ba + {}^{140}Xr + 2{}^{1}_{0}n + \text{energi}$$

Reaksi fusi adalah peleburan inti ringan menjadi inti berat disertai pembebasan energi. Contoh:

$$^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{1}H + \text{energi}$$

b. *Penentuan Umur (Dating) Batuan atau Fosil*

Pengukuran keradioaktifan dapat digunakan untuk menentukan umur mineral atau benda lain. Salah satu contoh terpenting adalah pengukuran umur dengan menggunakan radiokarbon. Di atmosfer selalu terjadi penembakan nitrogen oleh sinar kosmik, menghasilkan ^{14}C yang radiaktif.

Peristiswa ini disebut dengan transmutasi, yaitu perubahan suatu unsur menjadi unsur lain karena ditembak partikel dasar inti atom. Penulisannya sebagai berikut.

$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}p \text{ disingkat } {}^{14}_{7}N(n,p){}^{14}_{6}C$$

Karbon ini merupakan bagian dari daur karbon di alam. Lama kelamaan terdapat kesetimbangan antara ^{14}C yang diterima dan yang meluruh dalam tumbuh-tumbuhan maupun hewan sehingga keaktifan jenis ^{14}C mencapai 15,3 disintegrasi per menit per gram (dpm g^{-1}). Ternyata keaktifan jenis ini konstan untuk beberapa ribu tahun. Apabila organisme hidup itu mati, maka pengambilan ^{14}C akan terhenti dan keaktifan ini menurun. Oleh karena itu, umur suatu bahan yang mengandung karbon diperkirakan dengan pengukuran keaktifan jenisnya.

Contoh soal:

Ditemukan tulang suatu binatang purba yang mempunyai keaktifan ^{14}C 2,75 dpm g^{-1}. Perkirakan berapa tahun yang lampau binatang itu hidup? ($t_{½}{}^{14}C$ = 5668 tahun). Keaktifan ^{14}C mula-mula 15,3 dpm g^{-1}.

Penyelesaian:

dari rumus $t_{½} = \dfrac{0{,}693}{\lambda}$

$5668 = \dfrac{0{,}693}{\lambda}$

maka $\lambda = \dfrac{0{,}693}{5668}$

dari rumus $\ln \dfrac{N}{N_o} = -\lambda t$

$2{,}303 \log \dfrac{N}{N_o} = -\lambda t$

$2{,}303 \log \dfrac{2{,}75}{15{,}3} = -\dfrac{0{,}693}{5668}$

$2{,}303 \times (-0{,}745) = -1{,}24 \times 10^{-4} t$

$t = 13837$ tahun

c. *Dalam Bidang Kimia*

Dalam bidang kimia, digunakan untuk analisis pengeceran isotop. Ke dalam suatu larutan yang akan dianalisa ditambahkan suatu larutan yang mengandung suatu spesi radioaktif yang diketahui jumlahnya dan zat yang tidak diketahui. Kemudian zat tersebut dipisahkan lalu keradioaktifannya dapat ditentukan.

d. Dalam Bidang Kedokteran

Radioisotop digunakan dalam bidang kedokteran sebagai perunut dan juga untuk terapi kanker (^{60}Co).

e. Dalam Bidang Pertanian

Radioisotop digunakan dalam bidang pertanian sebagai perunut dan juga untuk memperoleh bibit unggul (pemuliaan tanaman).

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 3.5

Tuliskan persamaan reaksi peluruhan di bawah ini!

a. peluruhan alfa dari $^{241}_{95}Am$
b. peluruhan beta dari $^{28}_{13}Al$
c. peluruhan positron dari $^{11}_{6}C$
d. penangkapan elektron dari $^{56}_{26}Fe$
e. peluruhan gamma dari $^{117}_{50}Sn$
f. pembelahan spontan dari $^{254}_{96}Cf$

Kompetensi Iman

Unsur di Alam

Lihatlah unsur-unsur di alam! Apakah manusia dapat menciptakan unsur? Manusia hanya dapat mempelajari dan memanfaatkan unsur di alam. Kalau ada ilmuwan yang mengaku mampu menciptakan unsur merupakan suatu kesalahan yang besar. Hal tersebut tidak benar karena ia hanya mengubah unsur yang ada menjadi unsur lain, bukan menciptakannya.

Manusia tidak boleh sombong dan merendahkan orang lain, karena kemampuan yang dimilikinya sangat kecil bila dibandingkan dengan kekuasaan Tuhan. Ilmu kimia diharapkan mampu meningkatkan iman kita sebagai makhluk Tuhan.

Rangkuman

1. Alumunium
   a. Senyawanya adalah bauksit, kriolit, kaolin/tanah liat, dan tawas.
   b. Digunakan untuk alat dapur, pesawat, komponen bangunan, aluminium foil, tawas, dan lain-lain.
   c. Dibuat dengan proses Hall-Heroult (elektrolisis alumina).
2. Silikon
   a. Senyawanya adalah silikon dioksida dan senyawa silikat.
   b. Digunakan untuk semikonduktor dalam peralatan elektrolit, operasi plastik, pelarut, pembersih, bahan pengkilap, gelas, dan kaca.
3. Besi
   a. Senyawanya adalah hematit, magnetit, limonit, dan siderit.
   b. Digunakan untuk konstruksi jembatan, badan kendaraan, rel kereta api, dan konstruksi bangunan.
   c. Diperoleh dari ektraksi bijih besi seperti hematit.
4. Kromium
   a. Senyawanya adalah kromit.
   b. Digunakan sebagai pelapis bumper mobil, penyamak kulit, campuran stainless steel.
5. Tembaga
   a. Senyawanya adalah pirit, kalkopirit, kuprit, dan malasit.
   b. Digunakan untuk kabel, komponen berbagai alat listrik, kerajinan dan karya seni, campuran membuat perunggu dan monel.
6. Belerang
   a. Senyawanya adalah H_2S, SO_2, $CaSO_4$, dan $MgSO_4$.
   b. Digunakan untuk pembuatan asam sulfat, vulkanisasi karet untuk industri ban kendaraan.
   c. H_2SO_4 dibuat melalui proses kontak dan proses bilik timbal.
7. Karbon
   a. Karbon berbentuk unsur karbon, senyawa karbon organik, dan senyawa karbon anorganik.

b. Digunakan untuk perhiasan dan mata bor (intan), pembuatan pensil, zat warna untuk cat hitam, elektroda pada batu baterai, pelumas kering, pembuatan baja dan batu bata tahan api (grafit), karbon aktif, dan obat sakit kepala.
c. Dibuat dari reaksi-reaksi senyawa karbon (adisi, substitusi, dan eliminasi).

8. Nitrogen
   a. Senyawanya adalah natrium nitrat.
   b. Digunakan untuk mengisi bola lampu, mengusir O_2 dalam larutan injeksi dan makanan (agar tidak cepat tengik), pelarut, pereaksi, bahan baku pembuatan pupuk.
   c. Diperoleh dari distilasi/udara cair, sedangkan amonia dibuat dengan proses Haber-Bosch.
9. Oksigen
   a. Unsur terbanyak di permukaan bumi dalam bentuk air.
   b. Digunakan untuk pernapasan, pengolahan besi menjadi baja, bahan pembentuk ozon, dan aerasi limbah.
   c. Diperoleh dari distilasi udara cair.
10. Sifat fisik unsur
    a. Halogen
       Gas (F dan Cl), cair (Br), padat (I dan At). Warna F (kuning muda), Cl (hijau kekuning-kuningan), Br (merah kecokelatan).
    b. Alkali
       Padat, massa jenis kecil (mudah diiris), warna nyala khas yaitu merah (Li dan Rb), kuning (Na), ungu (K), dan biru (Cs).
    c. Alkali tanah
       Padat, massa jenis lebih besar dari alkali (lebih keras dari alkali), warna nyala khas yaitu putih (Be dan Mg), merah jingga (Ca), merah bata (Sr), dan hijau (Ba).
    d. Unsur periode ketiga
       Unsur Na, Mg, Al, Si, P, dan S berwujud padat. Bentuk gas (Cl dan Ar).

11. Sifat kimia unsur
    a. Halogen
       Kelarutan dari atas ke bawah dalam satu golongan semakin kecil. Pengoksidasi kuat, dapat bereaksi dengan logam, nonlogam, dan metaloid.
    b. Alkali
       Pereduksi kuat, dapat bereaksi dengan nonlogam.
    c. Alkali tanah
       Pereduksi kuat, dapat bereaksi dengan nonlogam.
    d. Unsur periode ketiga
       Semakin ke kanan sifat pereduksi semakin kuat dan sifat pengoksidasi semakin lemah. Sifat asam semakin kuat dan sifat basa semakin lemah.
12. Unsur radioaktif adalah unsur yang dapat memancarkan sinar radioaktif antara lain sinar α, β, γ, positron, dan neutron. Unsur ini digunakan sebagai sumber energi pembangkit listrik, penentuan umur batuan/fosil, dalam bidang kimia, kedokteran, dan pertanian.

Uji Kompetensi

Kerjakan di buku tugas kalian!

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

1. Senyawa berikut yang mengandung aluminium adalah . . . .
   A. kromit
   B. magnetit
   C. bauksit
   D. pirit
   E. hematit
2. Pasir merupakan salah satu bahan tambang yang banyak mengandung unsur . . . .
   A. aluminium
   B. silikon
   C. belerang
   D. karbon
   E. kromium
3. Kromit adalah salah satu mineral yang banyak mengandung kromium. Di Indonesia mineral ini banyak terdapat di daerah . . . .
   A. Sulawesi Tengah
   B. Kalimantan Tengah
   C. Sumatera Utara
   D. Jawa Tengah
   E. Kalimantan Barat

4. Tabel energi ionisasi unsur-unsur halogen sebagai berikut.

Unsur Halogen	P	Q	R	S
Energi Ionisasi (kJ mol^{-1})	1688,4	1012,4	1146,6	1255,8

Berdasarkan data tersebut, susunan unsur halogen menurut kenaikan nomor atomnya adalah . . . .

A. S, Q, P, R
B. P, Q, R, S
C. P, S, R, Q
D. R, S, P, Q
E. Q, R, S, P

5. Urutan senyawa hidrogen halida yang titik didihnya makin kecil adalah . . . .

A. HF, HCl, HBr, dan HI
B. HI, HBr, HCl, dan HF
C. HF, HCl, HI, dan HBr
D. HBr, HI, HCl, dan HF
E. HF, HI, HBr, dan HCl

6. Basa alkali berikut yang paling kuat adalah . . . .

A. LiOH
B. NaOH
C. CsOH
D. KOH
E. RbOH

7. Logam Al digunakan untuk peralatan dapur karena . . . .

A. merupakan logam inert
B. tidak berkarat
C. tidak bereaksi dengan asam dan basa
D. proses perkaratan terus-menerus
E. .... $_2O_3$ akan melindunginya dari proses perkaratan berlanjut

8. Proses pembuatan asam sulfat menggunakan proses . . . .

A. proses Haber–Bosch
B. proses kontak
C. proses Hall-Heroult
D. distilasi
E. adisi

9. Inti radioaktif yang mempunyai perbandingan $\frac{n}{p}$ relatif terlalu besar akan memperoleh kestabilan bila . . . .

A. meluruhkan positron
B. meluruhkan alfa
C. meluruhkan neutron
D. meluruhkan proton
E. menangkap elektron K

10. Isotop di bawah ini yang terbentuk jika $^{218}_{84}Po$ memancarkan satu partikel alfa, satu partikel beta, dan satu partikel gamma yaitu . . . .

A. $^{214}_{81}Tl$
B. $^{214}_{83}Bi$
C. $^{213}_{82}Pb$
D. $^{215}_{82}Pb$
E. $^{214}_{82}Pb$

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

1. Mengapa kereaktifan alkali makin ke bawah makin reaktif?
2. Sebutkan penggunaan silikon dalam industri!
3. Proses elektrolisis dalam pembuatan aluminium, Al_2O_3 yang telah dimurnikan dicampur dengan kriolit (Na_3AlF_6). Jelaskan fungsi penambahan kriolit tersebut!
4. Jelaskan pembuatan asam sulfat dengan proses kamar timbal dan proses kontak!
5. Unsur radioaktif A mempunyai waktu paruh 3 jam. Setelah 1 hari unsur A yang tersisa sebanyak 2 gram. Berapakah massa unsur A mula-mula?

Latihan Semester I

Kerjakan di buku tugas kalian!

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

1. Tekanan uap jenuh air murni pada suhu 25°C adalah 23,76 mmHg. Tekanan uap larutan yang mengandung 5,4 gram zat terlarut yang tidak mudah menguap dalam 90 gram air adalah 23,32 mmHg. Maka massa molar zat tersebut adalah . . . .
   A. 37
   B. 57
   C. 67
   D. 60
   E. 47

2. Suatu zat organik X terdiri atas unsur C, H, dan O. Sebanyak 2,36 gram zat X dilarutkan dalam 200 gram aseton dan larutan ini mendidih pada suhu 56,67°C. Apabila diketahui titik didih aseton murni 56,50°C dan K_b aseton = 2,22°C m^{-1}, maka zat X mempunyai rumus . . . .
   A. $HO_2C - CO_2H$
   B. $HO_2C - CH_2 - CO_2H$
   C. $HO_2C - (CH_2)_2 - CO_2H$
   D. $HO_2C - (CH_2)_3 - CO_2H$
   E. $HO_2C - (CH_2)_4 - CO_2H$

3. Sebanyak 35,5 g zat A dilarutkan dalam 100 g karbon disulfida dan memiliki titik didih larutan 48,58°C. Apabila diketahui 46,23°C dan K_b CS_2 = 2,35°C m^{-1}, maka massa molar (M_r) zat X adalah . . . .
   A. 258
   B. 355
   C. 535
   D. 625
   E. 723

4. Sebanyak 12 gram urea, $CO(NH_2)_2$, dilarutkan dalam air hingga volume larutan 500 mL. Apabila diketahui tetapan gas ideal adalah 0,082 L atm mol^{-1} K^{-1} dan suhu larutan 27°C, maka tekanan osmotik larutan adalah . . . .
   A. 0,008 atm
   B. 0,88 atm
   C. 0,98 atm
   D. 2,46 atm
   E. 9,84 atm

5. Pada "setengah reaksi" berikut:

$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

$SO_3^{2-} + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^-$

Pada penyetaraan reaksi redoks yang melibatkan MnO_4^- dalam suasana asam, perbandingan koefisien MnO_4^- dan SO_3^{2-} adalah . . . .

A. 1 : 2
B. 2 : 1
C. 1 : 5
D. 2 : 5
E. 5 : 2

6. Suatu larutan mempunyai tekanan osmotik sebesar 3*MRT*. Larutan yang sesuai dengan data tersebut adalah . . . .

A. larutan dengan konsentrasi 3 M
B. larutan yang terdiri atas 3 mol glukosa
C. larutan KOH
D. larutan $MgCl_2$
E. larutan $AlCl_3$

7. Pada reaksi redoks:

$MnO_2(s) + 2H_2SO_4(aq) + 2NaI(aq) \rightarrow MnSO_4(aq) + Na_2SO_4(aq) + 2H_2O(l) + I_2(g)$

Yang berperan sebagai oksidator adalah . . . .

A. NaI
B. H_2SO_4
C. Mn^{4+}
D. I^-
E. MnO_2

8. Berdasarkan data potensial elektrode standar berikut:

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ $E^\circ = +0{,}34$ V

$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$ $E^\circ = +0{,}80$ V

Maka reaksi $Cu(s) + 2Ag^+(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$ memiliki potensial sel . . . .

A. +0,06 V
B. +0,46 V
C. +0,76 V
D. +1,14 V
E. +1,26 V

9. Dalam proses elektrolisis larutan asam sulfat encer terbentuk 2,24 dm^3 gas hidrogen (pada STP). Jika muatan listrik yang sama dialirkan ke dalam larutan perak nitrat,

maka banyaknya perak yang mengendap pada katode adalah . . . .

A. 2,7 gram
B. 5,4 gram
C. 10,8 gram
D. 21,6 gram
E. 43,2 gram

10. Elektrolisis senyawa di bawah ini yang menghasilkan gas hidrogen pada katode adalah . . . .

A. NH_3
B. HCl
C. Na_2SO_4
D. $KHSO_4$
E. NaH

11. Baja banyak dimanfaatkan untuk konstruksi bangunan. Kekuatannya sangat tinggi dibanding besi. Komposisi baja *stainless steel* adalah . . . .

A. 72% Fe, 19% Cr, dan 9% Ni
B. 72% C, 19% Cr, dan 9% Fe
C. 72% Ca, 19% Fe, dan 9% Ni
D. 72% Cu, 19% Cr, dan 9% Fe
E. 72% Cu, 19% Fe, dan 9% Ni

12. Unsur halogen yang titik didihnya paling kecil adalah . . . .

A. F_2
B. Cl_2
C. Br_2
D. At_2
E. I_2

13. Jika Mg dibakar di udara maka akan terbentuk . . . .

A. MgO
B. Mg_3N_2
C. MgO dan Mg_2N_3
D. MgO dan Mg_3N_2
E. MgO dan MgN

14. Unsur-unsur periode ketiga di bawah ini yang mempunyai titik leleh terbesar adalah . . . .

A. Al
B. Si
C. Na
D. S
E. P

15. Peluruhan radioaktif $^{27}_{14}Si$ menghasilkan $^{27}_{13}Al$ dan . . . .

A. proton
B. neutron
C. positron
D. partikel alfa
E. elektron

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

1. Suatu senyawa organik terdiri dari unsur-unsur C = 42,86% massa, H = 2,38% massa, N = 16,67% massa, dan sisanya oksigen. Bagaimana rumus molekul senyawa tersebut jika larutan 2 gram zat itu dalam 100 gram benzena mendidih pada 80,5°C? Titik didih benzena murni = 80,2°C dan K_b benzena = 2,52°C^{-1}.
2. Titik beku darah pada ikan tergantung dari habitatnya. Darah terdiri atas plasma, sel darah merah, sel darah putih, dan sebagainya. Plasma merupakan cairan yang terdiri atas berbagai macam zat yang memiliki titik beku lebih rendah daripada ikan air tawar atau ikan air payau. Mengapa hal tersebut bisa terjadi?
3. Lapisan tembaga atau zink yang masih utuh cukup efektif melindungi besi dari karat. Tetapi jika lapisan tersebut bocor atau rusak maka besi yang dilapisi oleh tembaga semakin cepat mengalami korosi, sebaliknya besi yang dilapisi oleh zink tetap terhindar dari korosi. Mengapa hal tersebut dapat terjadi?
4. Apabila kalian akan melapisi cincin besi dengan logam perak, tentukan:
   a. Rancangan sel elektrolisis dengan katode, anode, larutan elektrolit yang digunakan, dan aliran elektron!
   b. Jelaskan proses elektrolisis yang terjadi!
5. Selesaikan reaksi inti berikut:
   a. $^{81}_{36}Kr + {}^{0}_{-1}e \rightarrow \ldots$
   b. $^{54}_{26}Fe + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}H + \ldots$
   c. $^{220}_{86}Rn \rightarrow \ldots + {}^{116}_{84}Po$

Bab IV

Senyawa Turunan Alkana



Sumber gambar: www.indomaret.com

Tujuan Pembelajaran:

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan struktur, cara penulisan, tata nama, sifat, kegunaan, dan identifikasi senyawa turunan alkana.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Haloalkana
2. Alkanol
3. Alkoksi alkana
4. Alkanal
5. Alkanon
6. Alkanoat
7. Alkil alkanoat



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer 6*

Gambar 4.1 *Asam format terdapat dalam tubuh semut merah*

Kalian pasti sering kecewa, saat gula yang kalian simpan dikerumuni oleh banyak semut. Apalagi jika semutnya adalah semut merah yang menimbulkan bau yang amat menyengat jika tergilas. Bau semut merah memang berbeda dengan semut hitam pada umumnya. Apakah kalian tahu, kira-kira zat apa yang terkandung dalam tubuh semut merah tersebut?

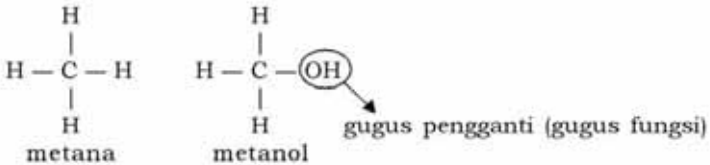
Bau yang menyengat dari tubuh semut merah tersebut adalah bau dari *asam format* (Gambar 4.1). Asam ini merupakan salah satu jenis senyawa asam karboksilat. Apa yang dimaksud dengan asam karboksilat dan bagaimana rumus umumnya?

Asam karboksilat adalah salah satu senyawa turunan alkana. Kalian tentu masih ingat dengan bahasan kekhasan atom karbon. Ada 3 homolog senyawa karbon yaitu alkana, alkena, atau alkuna. Senyawa dalam satu homolog mempunyai rumus umum yang sama dan sifat yang mirip, sedangkan senyawa dari homolog yang berbeda mempunyai sifat yang berbeda.

Homolog turunan alkana yaitu senyawa-senyawa yang berasal dari alkana yang satu atau lebih atom H-nya digantikan oleh gugus fungsi tertentu di antaranya adalah haloalkana (alkil halida), alkohol (alkanol), eter (alkoksi alkana), aldehid (alkanal), keton (alkanon), asam karboksilat (alkanoat), dan ester (alkil alkanoat). Gugus fungsi tersebut yang menentukan struktur dan sifat senyawa.

A. Pengertian Gugus Fungsi

Bandingkan struktur metana dan metanol berikut:



Molekul metana hampir sama dengan molekul metanol, kecuali satu atom H diganti oleh gugus OH (gugus pengganti). Adanya gugus pengganti sangat mempengaruhi sifat fisis dan sifat kimia keduanya. Sifat metanol (CH_3OH) lebih mirip dengan etanol (C_2H_5OH). Gugus pengganti disebut juga *gugus fungsi*. Apakah kalian sudah bisa menjelaskan yang dimaksud dengan gugus fungsi?

Gugus fungsi adalah atom atau gugus atom yang paling menentukan sifat suatu senyawa. Gugus fungsi merupakan ciri khas dari suatu homolog dan merupakan pusat reaktivitas molekul. Apabila senyawa karbon yang bergugus fungsi itu direaksikan dengan zat tertentu, maka gugus fungsi itulah yang mengalami perubahan, sedangkan bagian lainnya pada umumnya tetap.

Tabel 4.1 Beberapa Gugus Fungsi yang Mengandung Oksigen dan Halogen

No.	Gugus Fungsi	Golongan Senyawa
1.	— OH	alkohol
2.	— O —	eter
3.	O ‖ — C — H	aldehid
4.	O ‖ — C —	keton
5.	O ‖ — C — OH	asam karboksilat

6.	$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-R'$	ester
7.	$-X$	halida

B. Senyawa Turunan Alkana

Senyawa turunan alkana adalah senyawa yang dianggap berasal dari alkana dengan satu atau lebih atom H diganti oleh gugus fungsi tertentu. Contohnya metanol dapat dianggap sebagai senyawa turunan alkana yaitu metana dengan satu atom H diganti oleh gugus fungsi OH. Beberapa senyawa turunan alkana yang akan dibahas tercantum seperti pada Tabel 4.2.

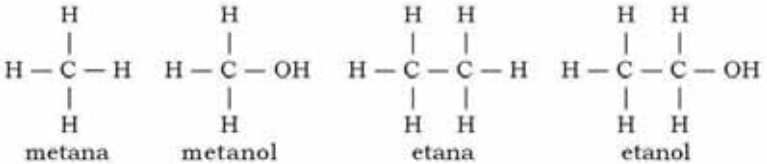
Tabel 4.2 Beberapa Senyawa Turunan Alkana

No.	Homolog	Gugus Fungsi	Struktur	Rumus Umum
1.	Alkanol	$-OH$	$R-OH$	$C_nH_{2n+2}O$
2.	Alkoksi alkana	$-O-$	$R-O-R'$	$C_nH_{2n+2}O$
3.	Alkanal	$-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$	$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$	$C_nH_{2n}O$
4.	Alkanon	$-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-$	$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R'$	$C_nH_{2n}O$
5.	Asam alkanoat	$-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$	$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$	$C_nH_{2n}O_2$
6.	Alkil alkanoat	$-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OR'$	$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-R'$	$C_nH_{2n}O_2$
7.	Haloalkana (alkil halida)	$-X$	$R-X$	$C_nH_{2n+1}X$

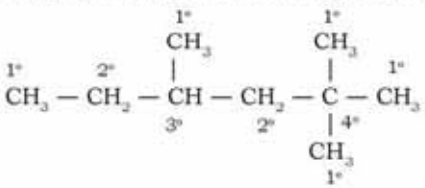
* R = gugus alkil (C_nH_{2n+1})

1. Alkohol (Alkanol)

Alkohol adalah senyawa dengan gugus fungsional –OH yang terikat pada rantai karbon alifatik. Gugus fungsi –OH berikatan kovalen dengan atom karbon dalam molekul alkohol dan molekul-molekul tersebut tidak terionisasi di dalam air menghasilkan ion OH^-. Alkohol dengan satu gugus –OH disebut *monoalkohol*, sedangkan yang lebih dari satu gugus –OH disebut *polialkohol*. Alkanol merupakan monoalkohol turunan alkana. Rumus umum dari alkanol adalah $C_nH_{2n+1}OH$ atau R–OH (satu atom H dari alkana diganti oleh gugus OH).



Jenis atom karbon yang mengikat gugus –OH (alkohol) dibedakan atas alkohol primer, alkohol sekunder, alkohol tersier, dan alkohol kuartener. Perhatikan contoh berikut!



Keterangan: 1° = atom karbon primer
2° = atom karbon sekunder
3° = atom karbon tersier
4° = atom karbon kuartener

a. Tata Nama

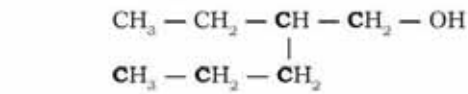
Ada dua macam sistem untuk memberi nama kelompok senyawa alkohol, yaitu:

1) Nama IUPAC (Alkanol)

a) Pilihlah rantai atom C terpanjang yang mengandung gugus –OH. Rantai ini diberi nama etanol, propanol, butanol, dan seterusnya bergantung pada jumlah atom C. Setiap nama diturunkan dari nama alkana di mana huruf **a** yang terakhir diganti dengan **ol**.

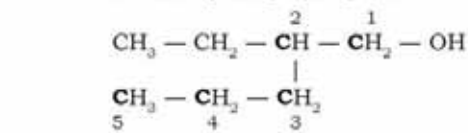
Etan**a** - etan**ol**
Butan**a** - butan**ol**

Contoh:



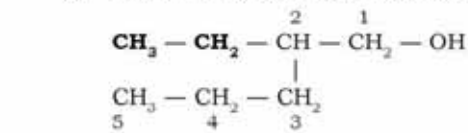
Rantai atom C terpanjang yang bergugus –OH adalah rantai atom C yang terdiri atas 5 atom C (rantai atom C yang tercetak tebal). Alkana dengan 5 atom C disebut pentana. Karena rumus di atas adalah senyawa alkohol, maka huruf terakhir a dari pentana berubah menjadi ol. Jadi, senyawa itu adalah suatu **pentanol**.

b) Berilah nomor pada atom C dari rantai atom C terpanjang dan bergugus –OH dimulai dengan nomor 1 untuk atom C yang terletak paling ujung dan terdekat dengan gugus –OH.



Karena gugus –OH terikat pada atom C nomor 1, maka namanya sementara adalah **1-pentanol**.

c) Tentukan kedudukan cabang (cabang disebut alkil).



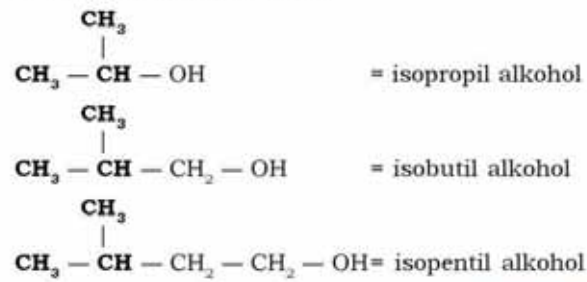
Dari rumus tersebut cabang adalah $\mathbf{CH_3 - CH_2}$ atau etil dan berkedudukan pada atom C nomor 2. Karena itu, nama senyawa tersebut adalah **2-etil-1-pentanol**.

2) Nama Trivial (Alkil Alkohol)

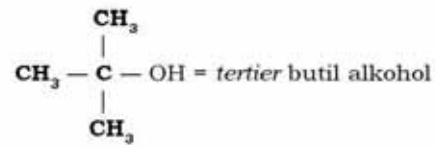
Nama yang paling sederhana dari kelompok senyawa alkohol menggunakan nama umum alkil alkohol. Gugus hidrokarbon pada senyawa alkohol diberi nama alkil.

Nama dengan menggunakan awalan iso-, tertier-, dan sek-biarpun tidak termasuk dalam pemberian nama menurut sistem IUPAC, awalan itu kadang-kadang masih banyak digunakan orang.

Awalan **iso-** digunakan untuk menunjukkan bahwa terdapat satu cabang metil yang berada di sebelah atom karbon yang terakhir dalam rantai atom karbon.



Awal **tertier-** digunakan untuk menunjukkan bahwa terdapat dua cabang metil yang berada di sebelah atom karbon yang terakhir dalam rantai atom karbon.

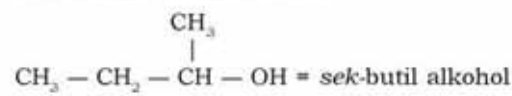


Info Kimia

IUPAC adalah himpunan kimia sedunia (International Union of Pure and Applied Chemistry).

Trivial adalah nama dagang atau nama umum untuk suatu senyawa turunan alkana.

Awal **sek-** digunakan untuk menunjukkan bahwa terdapat satu cabang metil yang berada pada atom karbon di sebelah gugus –OH dalam rantai atom karbon.



b. *Sifat Alkohol*

Sifat-sifat alkohol dapat dilihat dari sifat fisika dan sifat kimia. Sifat-sifat tersebut antara lain:

1) Mudah terbakar.
2) Mudah bercampur dengan air.
3) Alkohol dengan jumlah atom sebanyak 1 sampai dengan 4 berupa gas atau cair, 5 sampai dengan 9 berupa cairan kental seperti minyak, sedangkan 10 atau lebih berupa zat padat.

4) Alkohol bersifat polar karena memiliki gugus –OH, sedangkan gugus –R (alkil) bersifat nonpolar. Semakin panjang rantai alkilnya, makin berkurang kepolaran alkohol, sehingga kelarutannya juga berkurang. Oleh karena itu, alkohol suku rendah (metanol dan etanol) lebih mudah larut dalam pelarut-pelarut yang polar seperti air.
5) Titik didih alkohol jauh lebih tinggi daripada titik didih alkana. Hal ini berkaitan dengan gugus fungsi –OH yang sangat polar, sehingga gaya tarik-menarik antarmolekul alkohol menjadi sangat kuat.

c. *Kegunaan Alkohol*

Senyawa alkohol pada umumnya dipakai sebagai pelarut. Beberapa senyawa alkohol yang banyak dimanfaatkan adalah:

1) Metanol

Metanol dimanfaatkan untuk pelarut getah dan resin, membuat senyawa organik lain seperti ester, dicampurkan pada bensin sampai kadar 15% tanpa mengubah konstruksi mesin kendaraan dan untuk membuat polimer (plastik) setelah metanol diubah menjadi metanal (formaldehid).

Info Kimia

Metanol merupakan bahan bakar alternatif karena pembakarannya lebih bersih daripada minyak bumi, di mana karbon monoksida (CO) yang dihasilkan lebih sedikit. Di negara Brazil, batang tebu diolah menjadi alkohol dan digunakan sebagai bahan bakar (*biofuel*). Carilah jenis *biofuel* lainnya!

2) Etilen Glikol

Etilen glikol dimanfaatkan untuk bahan antibeku pada radiator mobil, bahan baku industri serat sintetis seperti *Dacron*, (Gambar 4.2), untuk pelarut, dan bahan pelunak (pelembut).



Sumber: [illegible]

Gambar 4.2 *Serat sintetis dacron*

3) Etanol

Etanol dimanfaatkan untuk bahan bakar, membuat senyawa organik lain, dan dapat diubah menjadi etanal (asetaldehid) untuk dijadikan pelarut.

4) Gliserol

Gliserol dimanfaatkan untuk pelembab pada tembakau dan kembang gula, pelarut berbagai jenis obat-obatan, untuk membuat nitrogliserin (gliserol trinitrat) yaitu bahan untuk peledak (dinamit).

d. Pembuatan Beberapa Senyawa Alkohol

1) Metanol

Metanol dibuat dari campuran gas CO dengan H_2 (gas air) dengan katalis ZnO atau Cr_2O_3 pada suhu 450°C dan tekanan 200 atm.

$$CO(g) + 2H_2(g) \xrightarrow[350^\circ C\ 200\ atm]{Cr_2O_7^{2-}} CH_3 - OH(l)$$

Dahulu metanol dibuat dengan cara penyulingan kering kayu atau kayu dipanaskan tanpa kehadiran gas oksigen. Hasil yang diperoleh adalah asam cuka, aseton, dan metanol. Dengan cara penyulingan bertingkat, ketiga macam zat ini dapat dipisahkan.

2) Etanol

Etanol terdapat dalam minuman anggur dan bir. Sejak lebih dari 3000 tahun yang lampau, minuman ini dibuat dari fermentasi gula yang ada dalam anggur dengan enzim yang terkandung dalam ragi. Enzim zimase glukosa ini diubah menjadi alkohol $\pm$ 10%. Etanol bersifat sedikit racun, sehingga minuman yang mengandung etanol (alkohol) tidak baik untuk kesehatan. Jika diminum dalam jumlah sedikit dapat menyebabkan orang malas belajar dan bekerja. Jika diminum dalam jumlah banyak dapat menyebabkan lupa diri atau mabuk. Jika terus-menerus meminumnya, akan dapat merusak organ hati, jantung, alat pencernaan, dan menyebabkan kematian.

Etanol dapat terbentuk juga melalui proses pembuatan tape. Proses pembuatan tape adalah proses pembuatan alkohol dengan cara fermentasi. Pati yang terkandung dalam ubi kayu, beras, atau ketan diubah oleh enzim menjadi molekul karbohidrat yang lebih kecil yaitu glukosa. Glukosa ini kemudian diubah menjadi etanol.

Info Kimia

Spiritus adalah etanol yang diracuni dengan menambahkan metanol dan zat warna biru ke dalamnya. Hal ini dilakukan agar tidak diminum oleh orang.

$(C_6H_{10}O_5)n(s) + nH_2O(l) \xrightarrow{\text{Amilase}} nC_6H_{12}O_6(s)$
pati glukosa

$C_6H_{12}O_6(s) \xrightarrow{\text{Zimase}} 2C_2H_5OH(l) + 2CO_2(g)$
glukosa etanol

Fermentasi dilakukan pada suhu kamar 25°C. Pada suhu rendah reaksi fermentasi berlangsung sangat lambat, sedangkan pada suhu tinggi ragi akan terbunuh.

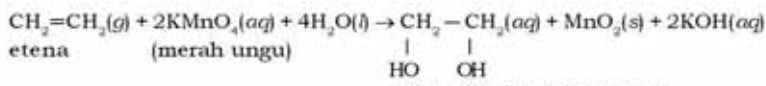
3) Glikol dan Gliserol

Polialkohol yang mempunyai dua gugus –OH diberi nama *alkanadiol*. Polialkohol yang mempunyai tiga gugus –OH diberi nama *alkanatriol*.

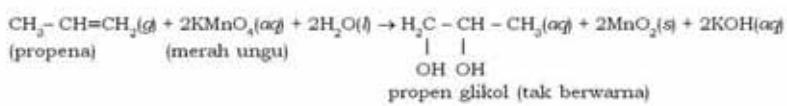


1,2-etanadiol (etilen glikol) 1,2,3-propanatriol (gliserol)

Glikol adalah suatu dihidroksi alkohol. Suatu glikol sering diberi nama dengan menambahkan kata glikol pada alkena yang membentuknya.



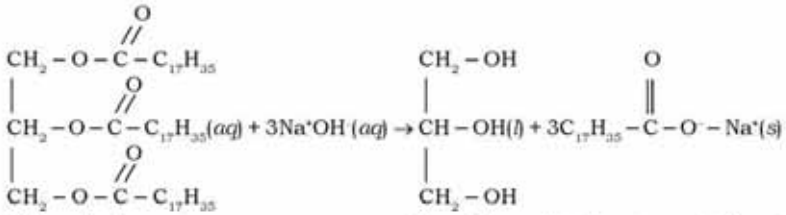
etena (merah ungu) etilen glikol (tak berwarna)



(propena) (merah ungu) propen glikol (tak berwarna)

Gliserol dari kata Yunani *glykys* yang berarti manis, biasa disebut dengan nama gliserin. Merupakan zat cair kental, titik lelehnya 18°C dan titik didih 290°C, bermassa jenis 1,261 g mL^{-1}, bersifat higroskopis, dan berasa manis. Gliserol diperoleh dari hasil samping

pembuatan sabun. Adapun reaksi pembuatan sabun tersebut adalah:



Gliserol tristearat Gliserol Natrium stearat (sabun)

2. Eter (Alkoksi Alkana)

Eter adalah senyawa karbon yang mengandung gugus fungsi – O – yang terikat pada dua gugus alkil yang sama atau berbeda. Struktur eter atau alkoksi alkana adalah:

$$R — O — R', Ar — O — R \text{ atau } Ar — O — Ar$$

R dan R' adalah gugus alkil dan Ar adalah gugus fenil. Dari rumus umumnya menunjukkan bahwa eter dapat diturunkan dari molekul H — O — H dengan mengganti dua atomnya dengan gugus alkil R dan R' (R dan R' adalah gugus alkil yang sama atau berbeda) atau gugus fenil.

a. *Tata Nama*

Tata nama eter cukup sederhana. Kalian dapat memilih dua cara berikut:

1) Kalian dapat menyebutkan dua gugus alkil atau gugus alkil diikuti dengan kata eter menjadi **alki alkil eter**. Apabila kedua alkil sama, maka senyawa eter cukup diberi nama **alkil eter** saja.

Contoh:

No.	Rumus Bangun	Rumus Molekul	Nama
1.	$CH_3 - O - CH_3$	C_2H_6O	Metil eter
2.	$CH_3 - CH_2 - O - CH_3$	C_3H_8O	Metil etil eter

2) Kalian dapat memberi nama berdasarkan nama alkana yang sesuai dengan tambahan awalan alkoksi.

Contoh:

No.	Rumus Bangun	Rumus Molekul	Nama
1.	$CH_3 - O - CH_3$	C_2H_6O	Metoksi metana
2.	$CH_3 - CH_2 - O - CH_3$	C_3H_8O	Metoksi etana

b. *Sifat Eter*

Sifat-sifat eter adalah sebagai berikut:

1) Sudut ikatan pada R — O — R tidak membentuk 180° seperti halnya pada sudut H — O — H.



Molekul eter mempunyai kemampuan yang sangat kecil untuk membentuk molekul dwikutub (dipol). Oleh karena itu eter tidak sama dengan alkohol, eter mempunyai titik didih yang rendah yang sebanding dengan titik didih alkana.

Tabel 4.3 Perbandingan Titik Didih Eter, Alkana, dan Alkohol

Eter	Titik Didih (°C)	Alkana	Titik Didih (°C)	Alkohol	Titik Didih (°C)
Etil eter	34,6	n-pentana	36,1	1-butanol	118
Butil metil eter	70,3	n-heksana	68,7	1-pentanol	138
Butil eter	140,9	n-nonana	150,7	1-oktanol	195

2) Eter mudah menguap dan uapnya lebih berat daripada udara. Dalam fase cair molekul-molekul eter tidak berikatan satu dengan lainnya.
3) Eter mudah terbakar.
4) Eter merupakan zat yang beracun tetapi jauh lebih aman daripada kloroform untuk digunakan sebagai obat bius.

c. *Kegunaan Eter*

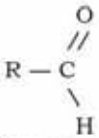
Senyawa eter banyak dimanfaatkan untuk:

1) Pelarut senyawa karbon
2) Bahan disinfektan
3) Bahan pembius

Vinil eter ($CH_2 = CH - O - CH = CH_2$) mempunyai kemampuan anastetik tujuh kali lebih besar daripada etil eter.

3. Aldehid (Alkanal)

Aldehid adalah senyawa karbon yang mengandung gugus karbonil (C=O) yang diikat oleh satu gugus alkil dan satu atom H. Gugus ini menentukan sifat fisik dan kimia dari aldehid. Rumus umum senyawa aldehid adalah:

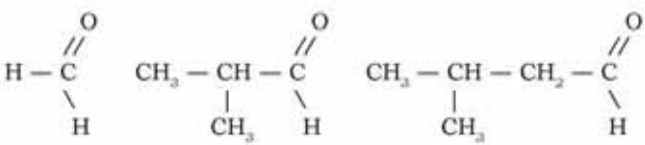


Gugus aldehid biasa ditulis — CHO. R — adalah gugus alkil. Senyawa ini dahulu diperoleh dari dehidrogenasi alkohol (*alcohol dehydrogenated*), sehingga disebut sebagai aldehid (*aldehyde*).

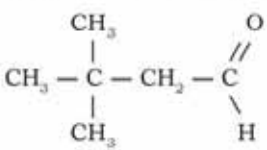
a. Tata Nama

Tata nama senyawa aldehid ada 2 cara, yaitu:

1) Berdasarkan aturan oleh IUPAC, maka nama aldehid mengikuti aturan umum yaitu:
   a) Rantai atom C terpanjang yang mengandung gugus aldehid merupakan rantai utama dan diberi nama dengan mengganti huruf **a** terakhir dari alkan**a** menjadi alkan**al**. alkan**a** → alkan**al**.
   b) Kedudukan gugus aldehid ditetapkan oleh suatu nomor dan nomor atom C pada gugus aldehid selalu sebagai atom C nomor 1 (C–1).
   c) Atom C yang berada di samping atom C–1 berturut-turut diberi nomor 2, 3, 4 dan seterusnya atau diberi huruf Latin alfa (α), beta (β), gamma (γ), dan seterusnya.

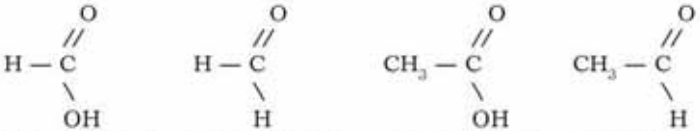


metanal 2-metil propanal 3-metil butanal



3,3-dimetil butanal

2) Nama umum senyawa aldehid diturunkan dari nama asam yang berkaitan, di mana akhiran **-at** diganti dengan **-aldehid**.



Asam format | Formaldehid | Asam asetat | Asetaldehid

b. *Sifat Aldehid*

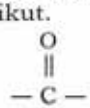
Senyawa aldehid dengan jumlah atom C rendah (C_1–C_2) larut dalam air. Formaldehid (H–CHO) dan asetaldehid (CH_3–CHO) mudah larut dalam air. Senyawa aldehid dengan jumlah atom C lebih dari 5 sukar larut dalam air.

c. *Kegunaan Aldehid*

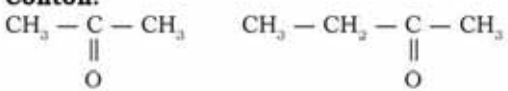
1) Larutan 37% formaldehid dalam air disebut *formalin*. Zat ini banyak digunakan untuk mengawetkan spesimen biologi dalam laboratorium atau dalam museum, karena dapat membunuh *germs* (disinfektan).
2) Formaldehid digunakan sebagai bahan baku untuk membuat damar buatan/sintetis. Galalit dibuat dari kasein (keju) dan metanal. Bakelit (damar fenol) dibuat dari fenol yang dipanaskan dengan metanal.
3) Formaldehid juga digunakan untuk insektisida dan germisida.
4) Etanal banyak digunakan sebagai bahan untuk karet atau damar buatan dan zat warna serta banyak zat organik yang penting. Misalnya asam asetat, aseton, etil asetat, dan 1-butanol.

4. Keton (Alkanon)

Keton memiliki kemiripan dengan aldehid. Keduanya sama-sama memiliki gugus karbonil. Jika dalam aldehid mengandung gugus karbonil (C=O) yang diikat oleh satu gugus alkil dan satu atom H, maka dalam senyawa keton satu atom H itu diganti dengan menggunakan gugus alkil. Jadi, keton adalah senyawa karbon yang mengandung gugus karbonil yang diapit oleh dua gugus alkil sebagai berikut.



Contoh:



aseton | butanon

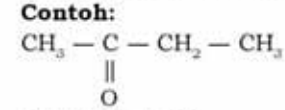
a. Tata Nama

Tata nama keton ada 2 macam, yaitu:

1) Sistem Nama Alkil-alkil Keton

Gugus-gugus alkil yang terikat pada gugus karbonil disebutkan dahulu baru diakhiri dengan kata keton. Alkil-alkil disebutkan sesuai dengan urutan abjad huruf pertama dari nama alkil.

Contoh:



etil metil keton

2) Sistem Nama Turunan Alkana

Nama keton diberikan dengan mengganti huruf terakhir **a** dari alkana dengan **on.**

Alkan**a** → alkan**on**

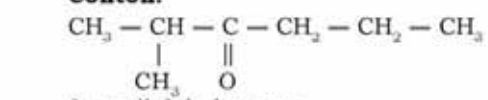
Selanjutnya mengikuti langkah-langkah berikut:

a) Rantai utama merupakan rantai terpanjang yang mengandung gugus karbonil.

b) Atom rantai C utama diberi nomor 1, 2, 3, dan seterusnya dimulai dengan nomor atom C ujung yang terdekat dengan gugus karbonil.

c) Jika jumlah atom C pada rantai utama yang terikat pada gugus karbonil sama panjangnya, maka atom C nomor 1 dimulai dari atom C ujung yang lebih banyak cabangnya.

Contoh:



2-metil-3-heksanon

b. Sifat Keton

Sifat-sifat keton adalah sebagai berikut:

1) Keton dengan jumlah atom C rendah (C_1–C_5) berupa cairan tidak berwarna.

2) Senyawa keton yang memiliki gugus karbonil larut dalam air. Hal ini sama seperti senyawa aldehid dan asam karboksilat.

3) Sama seperti senyawa aldehid, senyawa keton memiliki titik didih yang relatif lebih tinggi daripada senyawa nonpolar.

c. *Kegunaan Keton*

Senyawa keton yang terkenal dalam kehidupan sehari-hari adalah aseton. Aseton banyak digunakan sebagai berikut:

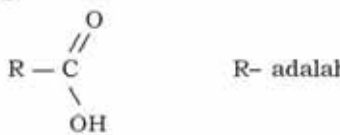
1) Pelarut senyawa karbon, contoh: pembersih cat kuku.
2) Pembuatan zat organik lain dalam industri, contoh: pembuatan kloroform (obat bius).

5. Asam Karboksilat (Asam Alkanoat)

Senyawa karbon yang benar-benar menunjukkan derajat keasaman yang cukup besar adalah asam karboksilat. Asam karboksilat adalah senyawa karbon yang mengandung gugus karboksil.



dengan rumus umum struktur asam karboksilat sebagai berikut:



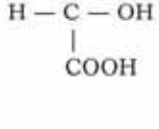
dan rumus umum molekul asam karboksilat alifatik adalah $C_nH_{2n}O_2$.

Asam karboksilat juga meliputi asam-asam yang mempunyai 2 atau lebih gugus karboksilat. Contohnya adalah:

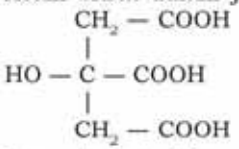
a. Asam oksalat dalam daun



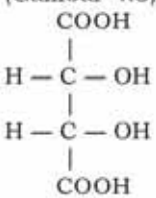
b. Asam laktat dalam susu masam



c. Asam sitrat dalam jeruk



d. Asam tartrat dalam anggur (Gambar 4.3)





Sumber: *Kamus Visual*

Gambar 4.3 *Buah anggur mengandung asam tartrat*

a. Tata Nama

Tata nama asam karboksilat adalah sebagai berikut:

1) Nama Trivial

Nama ini menunjukkan dari mana asal asam karboksilat tersebut.

Tabel 4.4 Asal dari Senyawa Asam Karboksilat

Nama Asam Karboksilat	Asal
Asam format	Terdapat dalam semut merah atau semut (Latin: *formica*).
Asam asetat	Terdapat dalam cuka.
Asam butirat	1. Merupakan bau khas mentega (*butter*) yang tengik. 2. Terdapat pada keringat manusia (dari ketiak). Karena baunya yang sangat menusuk, maka digunakan oleh anjing pelacak untuk mencari manusia.
Asam kaproat	Terdapat dalam lemak kambing.

Tabel 4.5 Nama Trivial Asam Karboksilat beserta Titik Beku dan Titik Didihnya

Nama Asam	Rumus Struktur	Titik Beku (°C)	Titik Didih (°C)
Format	$HCOOH$	8	100,5
Asetat	CH_3COOH	16,6	118
Propionat	CH_3CH_2COOH	–22	141
Butirat	$CH_3(CH_2)_2COOH$	–6	164
Valerat	$CH_3(CH_2)_3COOH$	–34	187
Kaproat	$CH_3(CH_2)_4COOH$	–3	205
Laurat	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	44	225
Miristat	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	54	251
Palmitat	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	63	269
Stearat	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	70	287

2) Nama IUPAC

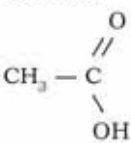
Aturannya adalah sebagai berikut:

a) Rantai atom C terpanjang yang mengandung gugus karboksilat merupakan rantai utama dan diberi nama dengan mengganti huruf **a** terakhir dari alkana dengan **oat** untuk asam yang mempunyai 1 gugus karboksilat, **adioat** untuk asam yang mempunyai 2 gugus karboksilat, dan **atrioat** untuk asam yang mempunyai 3 gugus karboksilat.
   Alkan**a** → Alkan**oat**
   Alkan**a** → Alkan**adioat**
   Alkan**a** → Alkan**atrioat**

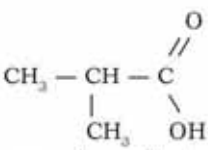
b) Gugus karboksilat ditetapkan sebagai atom C nomor 1 (C–1).

c) Atom C yang berada di samping atom C–1 berturut-turut diberi nomor 2, 3, 4, dan seterusnya atau diberi huruf Latin alfa (α), beta (β), gamma (γ), dan seterusnya.

Contoh:



asam etanoat
(asam asetat)



asam 2-metil etanoat
(asam α-metil asetat)

b. Sifat Asam Karboksilat

Berdasarkan strukturnya dapat diperkirakan bahwa molekul asam karboksilat adalah molekul polar.

1) Kelarutan

Empat asam yang pertama dapat larut secara baik dalam air. Asam valerat dan asam kaproat sebagian kecil larut dan asam-asam yang lebih besar lainnya tidak larut dalam air. Asam karboksilat juga larut dalam pelarut yang kurang polar seperti eter dan alkohol.

2) Titik Didih

Asam karboksilat mempunyai titik didih yang tinggi, bahkan lebih tinggi daripada alkohol.

c. Kegunaan Asam Karboksilat

Beberapa contoh senyawa asam karboksilat dan kegunaannya adalah sebagai berikut:

1) Asam Format (H–COOH)

Asam ini berbau merangsang, dapat menyebabkan kulit melepuh, dapat melapukkan kayu, dan membuat besi mudah berkarat. Asam ini digunakan untuk mengumpulkan getah karet (lateks) dan memusnahkan hama.

2) Asam Asetat (CH_3COOH)

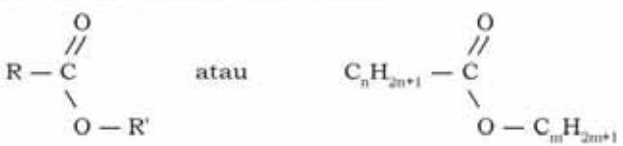
Asam ini berupa cairan, berbau merangsang, dan dapat larut dalam air. Asam ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan untuk membuat makanan dan penahan warna agar tidak luntur.

3) Asam Stearat

Asam ini berbentuk padat, berwarna putih, tidak larut dalam air, tetapi larut dalam eter dan alkohol. Asam ini dalam kehidupan sehari-hari digunakan untuk membuat lilin.

6. Ester (Alkil Alkanoat)

Secara umum rumus molekul ester adalah $C_nH_{2n}O_2$, sedangkan rumus umum struktur ester adalah:

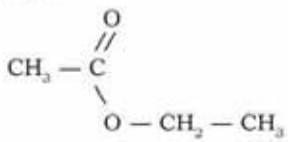


R dan R' adalah gugus alkil yang sama atau berlainan, *n* dan *m* merupakan bilangan yang sama atau berlainan.

a. Tata Nama

Ester diberi nama dengan menyebutkan gugus alkilnya lebih dahulu, kemudian diikuti dengan gugus karboksilatnya.

Contoh:



Gugus alkilnya adalah $-CH_2-CH_3$ atau etil, sedangkan gugus karboksilatnya adalah CH_3-COO- atau etanoat. Jadi, nama ester tersebut adalah **etil etanoat**.

b. Sifat Ester

1) Ester merupakan senyawa karbon yang netral.
2) Ester beratom C sedikit/rendah berwujud cairan dan berbau buah-buahan.
3) Ester beratom C banyak/tinggi berupa minyak dan lemak. Tidak larut dalam air tetapi larut dalam bensin, eter, dan CS_2. Minyak dan lemak terdiri dari berbagai jenis ester dari gliserol dan dari asam yang tinggi.

c. Kegunaan Ester

Beberapa kegunaan ester adalah untuk:

1) Esens buatan yang berbau buah-buahan.
2) Pelarut.
3) Bahan membuat kain.
4) Membuat sabun.

7. Haloalkana (Alkil Halida)

Haloalkana merupakan senyawa turunan alkana yang satu atau lebih atom H-nya diganti dengan atom unsur halogen. Jika dari alkana atom H yang diganti dengan atom unsur halogen tersebut sebanyak satu, dua, tiga, dan empat, maka haloalkana yang dihasilkan masing-masing disebut monohaloalkana, dihaloalkana, trihaloalkana, dan tetrahaloalkana. Secara umum rumus molekulnya adalah sebagai berikut:

a. Monohaloalkana : $C_nH_{2n+1}X$, contohnya CH_3Cl
b. Dihaloalkana : $C_nH_{2n}X_2$, contohnya CH_2Cl_2

c. Trihaloalkana : $C_nH_{2n-1}X_3$, contohnya $CHCl_3$
d. Tetrahaloalkana : $C_nH_{2n-2}X_4$, contohnya CCl_4

a. Tata Nama

Penamaan haloalkana adalah sebagai berikut:

1) Bila hanya satu atom H yang diganti, maka tata namanya ada dua, yaitu:
   a) Dimulai dengan nama halogen (fluoro, kloro, bromo, atau iodo) yang diikuti dengan nama alkana yang bersangkutan sebagai rantai induk (nama IUPAC).
      $CH_3 - Cl$: klorometana
      $CH_3 - CH_2 - Cl$: kloroetana
   b) Diberi nama alkil halida (nama trivial) khusus untuk monohaloalkana.
      $CH_3 - Cl$: metil klorida
      $CH_3 - CH_2 - Cl$: etil klorida
      $CH_3 - CH_2 - CHBr - CH_3$: isobutil bromida
2) Bila lebih dari satu atom H yang diganti, maka tata namanya (nama IUPAC) adalah:



1,1-dikloroetana 1,2-dikloroetana

b. Pembuatan Haloalkana

Haloalkana dapat dibuat dari reaksi substitusi alkana dengan unsur halogen atau reaksi adisi alkena dengan asam halogen (HX) seperti yang sudah dibicarakan pada reaksi senyawa karbon di atas.

1) Reaksi Substitusi Alkana

Reaksi substitusi alkana dengan unsur halogen berkelanjutan, sehingga reaksi alkana dengan unsur halogen dapat menghasilkan campuran monohaloalkana, dihaloalkana, dan seterusnya.

Contoh:

$CH_4(g) + Cl_2(g) \rightarrow CH_3Cl(g) + HCl(g)$
$CH_3Cl(g) + Cl_2(g) \rightarrow CH_2Cl_2(g) + HCl(g)$
$CH_2Cl_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow CHCl_3(l) + HCl(g)$
$CHCl_3(l) + Cl_2(g) \rightarrow CCl_4(aq) + HCl(g)$

2) Reaksi Adisi

Reaksi adisi alkena dengan asam halogen (HX) membentuk senyawa haloalkana.

Contoh:

$$CH_3–CH=CH_2(g) + HCl(g) \rightarrow CH_3–CHCl–CH_3(aq)$$

c. Kegunaan Haloalkana

Beberapa senyawa haloalkana yang digunakan dalam kehidupan, adalah:

1) Kloroform ($CHCl_3$)

Kloroform adalah suatu zat cair yang tidak berwarna, berbau sedap, dan bersifat membius jika dihirup. Sifat membiusnya sangat kuat tetapi penggunaannya dapat mengganggu hati. Haloalkana yang baik untuk membius adalah 2-bromo-2-kloro-1,1,1-trikloroetana ($CF_3–CHClBr$).

2) Iodoform (CHI_3)

Bentuknya padat, warnanya kuning, dan berbau khas. Banyak dimanfaatkan untuk antiseptik (pembunuh kuman) pada pengobatan luka.

3) Tetraklorometana (CCl_4)

Bentuknya cair dan tidak berwarna. Zat ini lebih berat daripada air. Manfaatnya adalah untuk pelarut lemak.

4) Freon

Freon adalah nama dagang dari CFC (klorofluorokarbon) yang banyak dikenal sebagai cairan pendingin *(refrigerant)* dalam kulkas (Gambar 4.4) atau sebagai propelan aerosol. Namun saat ini peng-gunaannya mulai dikurangi dan akan segera dihentikan karena diduga limbah freon dapat merusak ozon pada lapisan stratosfer.



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 4.4 *Cairan pendingin dalam kulkas mengandung CFC*

5) Diklorodifeniltrikloroetana (DDT)

DDT adalah insektisida yang sangat kuat dan tahan lama. Sekarang, pemanfaatannya sudah dilarang karena DDT tidak bisa diuraikan oleh lingkungan karena sifatnya yang stabil dan dapat masuk ke dalam rantai makanan. Sebagai contoh, DDT dapat menpengaruhi mekanisme pembentukan kalsium dalam tubuh burung. Akibatnya burung akan menghasilkan telur yang kulitnya tipis sekali sehingga bayi burung tersebut tidak dapat bertahan hidup (Gambar 4.5).

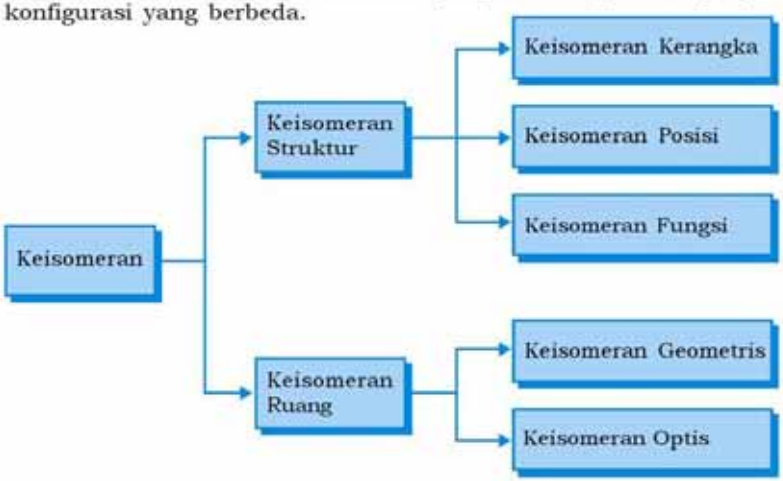


Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer 4*

Gambar 4.5 *DDT mempengaruhi mekanisme pembentukan telur burung*

C. Keisomeran

Sebagian besar senyawa karbon mengalami keisomeran. **Isomer** adalah senyawa-senyawa yang mempunyai rumus molekul sama, tetapi rumus struktur berbeda. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan struktur atau karena perbedaan konfigurasi. *Struktur* menggambarkan bagaimana atom-atom saling berkaitan dalam satu molekul, sedangkan *konfigurasi* menggambarkan susunan ruang atom-atom dalam molekul. Struktur yang sama dapat mempunyai konfigurasi yang berbeda.



1. Keisomeran Kerangka

Keisomeran kerangka tergolong keisomeran struktur. Senyawa-senyawa yang termasuk dalam isomer kerangka mempunyai rumus molekul dan gugus fungsi yang sama, tetapi berbeda rantai induknya.

Contoh:

a. Keisomeran antara pentana dan 2-metil butana (keduanya mempunyai rumus molekul C_5H_{12}).

$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ dan $CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH_2 - CH_3$

pentana 2-metil butana

b. Keisomeran antara 1-butanol dan 2-metil-1-propanol (keduanya mempunyai rumus molekul C_4H_9OH).

$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - OH$ dan $CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH_2 - OH$

1-butanol 2-metil-propanol

2. Keisomeran Posisi

Keisomeran posisi tergolong keisomeran struktur. Senyawa-senyawa yang termasuk dalam isomer posisi mempunyai kesamaan rumus molekul, kerangka serta gugus fungsi, sedangkan letak posisi gugus fungsi berbeda.

Contoh:

Keisomeran antara 1-butanol dan 2-metil-1-propanol (keduanya mempunyai kerangka dan gugus fungsi sama).

$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - OH$ dan $CH_3 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}} - CH_2 - CH_3$

1-butanol 2-butanol

3. Keisomeran Gugus Fungsi

Keisomeran gugus fungsi tergolong keisomeran struktur. Terjadi antarsenyawa dengan rumus molekul sama tetapi berbeda gugus fungsinya. Terdapat 3 pasangan homolog yang mempunyai rumus umum yang sama, yaitu:

a. Alkanol dengan alkoksi alkana, keduanya mempunyai rumus umum $C_nH_{2n+2}O$.

b. Alkanal dan alkanon, keduanya mempunyai rumus umum $C_nH_{2n}O$.
c. Asam alkanoat dengan alkil alkanoat, keduanya mempunyai rumus umum $C_nH_{2n}O_2$.

Contoh:

a. Keisomeran antara butanol dan dietil eter (keduanya mempunyai rumus molekul $C_4H_{10}O$).

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$ dan $CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$
butanol dietil eter

b. Keisomeran butanal dan 2-butanon (keduanya mempunyai rumus molekul C_4H_8O).

$CH_3-CH_2-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$ dan $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3$
butanal 2-butanon

c. Keisomeran asam butanoat dan metil propanoat (keduanya mempunyai rumus molekul $C_4H_8O_2$).

$CH_3-CH_2-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$ dan $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_3$
asam butanoat metil propanoat

4. Menentukan Jumlah Isomer Struktur

Suatu senyawa bergugus fungsi tunggal (hanya mempunyai satu gugus fungsi) dapat membentuk beberapa isomer struktur berdasarkan jumlah kemungkinan gugus alkil yang dapat dibentuk oleh senyawa itu. Gugus alkil yang terbentuk tergantung jumlah atom karbon dalam suatu rantai karbon.

a. Alkohol (Alkanol), $C_nH_{2n+2}O$ atau R–OH

Alkohol mempunyai struktur umum R–OH. Jadi, jumlah kemungkinan isomer alkohol sama dengan jumlah kemungkinan gugus alkilnya (R).

Contoh soal 4.1:

Berapakah kemungkinan isomer struktur dari alkohol dengan rumus kimia C_3H_8O?

Penyelesaian:

C_3H_8O sama dengan C_3H_7–OH

C_3H_7OH membentuk 2 jenis alkil, yaitu propil dan isopropil. Jadi

isomer alkoholnya ada 2 (sesuai dengan jumlah alkilnya).

$CH_3 - CH_2 - CH_2 - OH$: propil alkohol

$CH_3 - CH(OH) - CH_3$: isopropil alkohol

b. *Eter (Alkoksi Alkana), $C_nH_{2n+2}O$ atau R–O–R'*

Atom karbon dalam molekul eter dibagi dalam dua gugus alkil. Jadi, jumlah kemungkinan isomer eter sama dengan jumlah kemungkinan kombinasi kedua gugus alkilnya (R dan R').

Contoh soal 4.2:

Berapakah kemungkinan isomer struktur dari eter dengan rumus kimia $C_4H_{10}O$?

Penyelesaian:

$C_4H_{10}O$ membentuk 2 kombinasi gugus alkil yaitu:

1. Kombinasi $C_2H_5 - O - C_2H_5$ (2 +2) hanya ada sejenis etil, yaitu:
   $CH_3 - CH_2 - O - CH_2 - CH_3$: dietil eter
2. Kombinasi $CH_3 - O - C_3H_7$ (1+3) ada 2 kemungkinan, yaitu:
   $CH_3 - O - CH_2 - CH_2 - CH_3$: metil propil eter
   $CH_3 - O - CH(CH_3) - CH_3$: metil isopropil eter

c. *Aldehid (Alkanal), $C_nH_{2n}O$ atau R–CHO*

Satu atom C dalam aldehid menjadi bagian dari gugus fungsi, sisanya merupakan gugus alkil. Jadi, jumlah kemungkinan isomer aldehid sama dengan jumlah kemungkinan gugus alkilnya.

Contoh soal 4.3:

Berapakah kemungkinan isomer struktur dari alkanal/aldehid dengan rumus kimia $C_5H_{10}O$?

Penyelesaian:

$C_5H_{10}O$ mempunyai 4 gugus alkil, oleh karena itu kemungkinan isomernya juga ada 4, yaitu:

1. $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CHO$: pentanal
2. $CH_3 - CH_2 - CH(CH_3) - CHO$: 2-metil butanal

3. $CH_3 - CH(CH_3) - CH_2 - CHO$: 3-metil butanal

4. $CH_3 - C(CH_3)_2 - CHO$: 2,2-dimetil propanal

d. Keton (Alkanon), $C_nH_{2n}O$ atau R–CO–R'

Satu atom C dalam keton menjadi bagian dari gugus fungsi, sisanya merupakan gugus alkil. Jadi, jumlah kemungkinan isomer keton sama dengan jumlah kemungkinan kombinasi gugus-gugus alkilnya.

Contoh soal 4.4:

Berapakah kemungkinan isomer struktur dari keton dengan rumus kimia $C_5H_{10}O$?

Penyelesaian:

$C_5H_{10}O$ membentuk 2 kombinasi gugus alkil, yaitu:

1. Kombinasi $C_2H_5 - CO - C_2H_5$ (2 +2) hanya ada 1 kemungkinan, yaitu:

$CH_3 - CH_2 - C(=O) - CH_2 - CH_3$: 3-pentanon

2. Kombinasi $CH_3 - CO - C_3H_7$ (1+3) ada 2 kemungkinan, yaitu:

$CH_3 - CH_2 - CH_2 - C(=O) - CH_3$: 2-pentanon

$CH_3 - CH(CH_3) - C(=O) - CH_3$: 3-metil-2-butanon

e. Asam Alkanoat (Asam Karboksilat), $C_nH_{2n}O_2$ atau R–COOH

Satu atom C dalam alkanoat menjadi bagian dari gugus fungsi, sisanya merupakan gugus alkil. Jadi, jumlah kemungkinan isomer asam alkanoat sama dengan jumlah kemungkinan gugus alkilnya (mirip dengan alkanal/aldehid).

Contoh soal 4.5:

Berapakah kemungkinan isomer struktur dari asam alkanoat dengan rumus kimia $C_5H_{10}O_2$?

Penyelesaian:

$C_5H_{10}O_2$ mempunyai 4 gugus alkil, oleh karena itu kemungkinan isomernya juga ada 4, yaitu:

1. $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - COOH$: asam pentanoat
2. $CH_3 - CH_2 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - COOH$: asam 2-metil butanoat
3. $CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH_2 - COOH$: asam 3-metil butanoat
4. $CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}}} - COOH$: asam 2,2-dimetil propanoat

f. Ester (Alkil Alkanoat), $C_nH_{2n}O_2$ atau R–COOR'

Satu atom C dalam alkil alkanoat menjadi bagian dari gugus fungsi, sisanya menjadi dua gugus alkil (R dan R'). R dapat berupa atom H saja.

Contoh soal 4.6:

Berapakah kemungkinan isomer struktur dari alkil alkanoat dengan rumus kimia $C_4H_8O_2$?

Penyelesaian:

$C_4H_8O_2$ membentuk isomer sebagai berikut:

1. Kombinasi $H - COO - C_3H_7$ ada 2 kemungkinan, yaitu:

$$H - \overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}} - O - CH_2 - CH_2 - CH_3 \quad : \text{propil metanoat}$$

$$H - \overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}} - O - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH_3 \quad : \text{isopropil metanoat}$$

2. Kombinasi $CH_3 - COOH - C_2H_5$ ada 1 kemungkinan, yaitu:

$$CH_3 - \overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}} - O - CH_2 - CH_3 \quad : \text{etil etanoat}$$

g. *Haloalkana, $C_nH_{2n+1}X$ atau R–X*

Haloalkana mempunyai struktur umum R–X, strukturnya mirip dengan alkohol. Oleh karena itu, isomernya sama dengan alkohol. Jadi, jumlah kemungkinan isomer haloalkana sama dengan jumlah kemungkinan gugus alkilnya (R).

Contoh soal 4.7:

Berapakah kemungkinan isomer struktur dari haloalkana dengan rumus kimia C_3H_7Cl?

Penyelesaian:

C_3H_7Cl membentuk 2 jenis alkil, yaitu propil dan isopropil. Jadi, isomer haloalkananya ada 2 (sesuai dengan jumlah alkilnya).

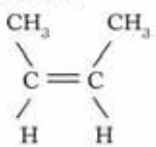
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - Cl$: propil klorida

$CH_3 - CH(CH_3) - Cl$: isopropil klorida

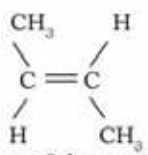
5. Keisomeran Geometris

Keisomeran geometris tergolong keisomeran ruang. Keisomeran ruang (*stereoisomer*) terjadi karena perbedaan orientasi atom-atom dalam ruang pada struktur tiga dimensi senyawa. Senyawa-senyawa yang termasuk dalam isomer geometris mempunyai rumus molekul dan struktur yang sama, terdapat dalam senyawa yang mempunyai ikatan rangkap. Isomer ini mempunyai dua bentuk yang ditandai dengan **cis** (gugus sejenis terletak pada sisi yang sama) dan **trans** (gugus sejenis terletak berseberangan).

Contoh:



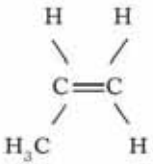
cis-2-butena



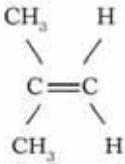
trans-2-butena

Keisomeran geometris tidak terjadi pada alkena, bila atom-atom C yang berikatan rangkap salah satu atau keduanya mengikat atom atau gugus atom yang sama.

Contoh:



propena



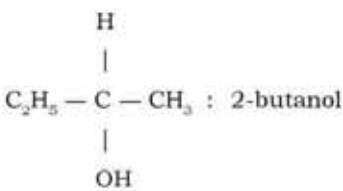
2-metilpropena

6. Keisomeran Optis

Keisomeran optis berkaitan dengan sifat **optis** senyawa yaitu sifat dari senyawa-senyawa yang dapat memutarkan bidang cahaya terkutub. **Bidang polarisasi** adalah satu bidang getar dari suatu cahaya yang terpolarisasi (cahaya terkutub). Beberapa jenis senyawa karbon ada yang dapat memutarkan bidang cahaya terkutub ke arah kanan (searah jarum jam) dan ada pula yang memutarkan ke arah kiri (berlawanan arah jarum jam), senyawa ini disebut bersifat **optis aktif**. Alat untuk mengubah cahaya biasa menjadi cahaya terkutub disebut **polarisator**.

Terjadinya keisomeran optis disebabkan karena adanya **karbon asimetris** dalam molekul. Karbon asimetris yaitu atom C yang terikat pada 4 atom yang berbeda.

Contoh:



Karbon asimetris bersifat **kiral** (Yunani, *khiral* = tangan kita), karena walaupun kedua tangan kita bentuknya sama namun tidak dapat setangkup jika sisi satu ditindihkan pada sisi yang lainnya. Jari-jari tangan kanan tidak identik jika ditindihkan pada jari-jari tangan kiri (Gambar 4.6) dan sebaliknya tangan kita dapat identik dengan bayangan cerminnya sendiri (Gambar 4.7).



Sumber: Dok. Penerbit

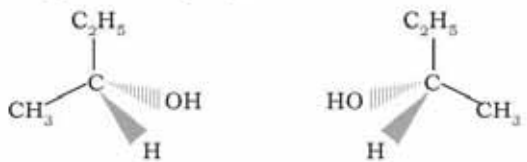
Gambar 4.6 *Jari-jari tangan kanan tidak identik jika ditindihkan pada jari-jari tangan kiri*



Sumber: Dok. Penerbit

Gambar 4.7 *Jari tangan akan identik (sama) dengan bayangannya sendiri di cermin*

Contoh senyawa kiral yang dicerminkan adalah sebagai berikut:



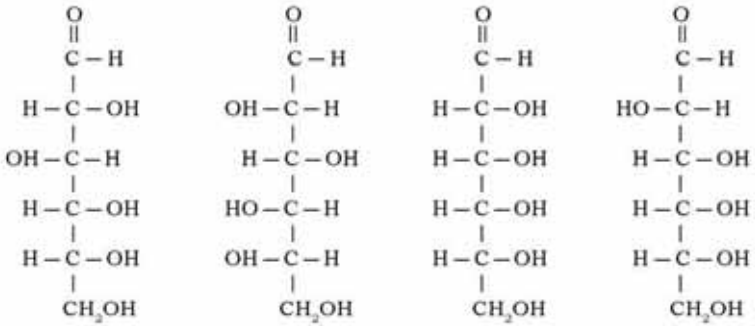
Semakin banyak jumlah atom C asimetris dalam molekul, semakin banyak pula kemungkinan konfigurasi molekul dan semakin banyak isomer optisnya. Jika ada n atom asimetris maka jumlah isomernya adalah 2^n isomer optis.

2^n = jumlah isomer optis
n = jumlah atom asimetris

Dua isomer yang merupakan bayangan cermin satu dengan yang lainnya disebut **enansiomer.** Isomer-isomer yang bukan enansiomer disebut **diastereoisomer.**

Contoh soal 4.8:

Senyawa di bawah ini mana yang termasuk enansiomer dan mana yang termasuk diastereoisomer?



Penyelesaian:

Struktur (I) dan (II) adalah enansiomer karena struktur (I) adalah bayangan dari struktur (II), sedangkan struktur (III) dan (IV) bukan enansiomer, karena jika keduanya dicerminkan tidak identik. Struktur (I) dan (III) atau struktur (I) dan (IV) atau struktur (II) dan (III) atau struktur (II) dan (IV) disebut diastereoisomer, karena tidak identik.

D. Reaksi-reaksi Senyawa Turunan Alkana

Senyawa turunan alkana adalah bagian dari senyawa karbon. Adapun reaksi-reaksi senyawa karbon adalah sebagai berikut:

1. Reaksi Substitusi

Reaksi substitusi adalah reaksi penggantian suatu atom atau gugus atom dalam suatu molekul dengan atom atau gugus atom lain. Reaksi ini biasanya terjadi pada senyawa jenuh (ikatan tunggal), namun pada kondisi tertentu terdapat pada senyawa tak jenuh (ikatan rangkap).

2. Reaksi Adisi

Reaksi adisi adalah reaksi penambahan senyawa tertentu kepada senyawa karbon tak jenuh agar diperoleh senyawa karbon jenuh.

3. Reaksi Eliminasi

Reaksi eliminasi adalah penghilangan atau pengeluaran beberapa atom atau gugus atom, sehingga terbentuk senyawa baru yang mempunyai ikatan rangkap. Reaksi ini merupakan kebalikan dari reaksi adisi.

4. Reaksi Reduksi dan Oksidasi (Redoks)

Reaksi redoks adalah reaksi yang disertai perubahan bilangan oksidasi. Reaksi oksidasi apabila bilangan oksidasi karbon bertambah. Reaksi reduksi apabila bilangan oksidasi karbon turun/berkurang.

Berdasarkan jenis reaksi di atas, maka reaksi-reaksi yang terjadi pada senyawa turunan alkana adalah sebagai berikut.

1. Reaksi-reaksi Alkohol

Senyawa alkohol dapat mengalami reaksi seperti berikut:

a. Reaksi Substitusi Gugus –OH dengan Logam Aktif (Na, K, Mg, dan Al)

Atom H dari gugus –OH dapat disubstitusi oleh logam aktif (Na, K, Mg, dan Al) membentuk alkoksida dan gas hidrogen.

$R - OH + M \rightarrow R - O - M + \frac{1}{2} H_2$

Contoh:

1) $CH_3 - CH_2 - OH(l) + Na(s) \rightarrow CH_3 - CH_2 - O - Na(g) + \frac{1}{2} H_2(g)$

etanol — natrium etanolat

2) $2\,\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - OH(l) + Mg(s) \rightarrow \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{HC}} - O - Mg - O - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}(aq) + H_2(g)$

2-propanol (isopropil alkohol) — magnesium isopropanolat

3) $CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}} - OH(l) + K(s) \rightarrow CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}} - O - K(aq) + \frac{1}{2}H_2(g)$

tertier butil alkohol — kalium tertier butanolat

b. *Reaksi Substitusi Gugus –OH dengan Halogen*

Atom H dari gugus –OH dapat disubstitusi oleh halogen yaitu HX pekat, PX_3, PX_5, atau SOX_2 (X = halogen).

$3\ R - OH + HX\ (pekat) \rightarrow 3\ R - X + H_2O$

$3\ R - OH + PX_3 \rightarrow 3\ R - X + H_3PO_3$

$R - OH + PX_5 \rightarrow R - X + POX_3 + H_2O$

Contoh:

1) $3\ CH_3 - CH_2 - OH\ (l) + HI(l) \rightarrow 3\ CH_3 - CH_2 - I(aq) + H_2O(l)$
   etanol — etil iodida

2) $3\ CH_3 - CH_2 - OH\ (l) + PCl_3 \rightarrow 3\ CH_3 - CH_2 - Cl(aq) + H_3PO_3(aq)$
   etanol — etil klorida

3) $CH_3 - CH_2 - OH(l) + PCl_5(s) \rightarrow CH_3 - CH_2 - Cl(aq) + POCl_3(g) + HCl(g)$
   etanol — etil klorida

c. *Reaksi Esterifikasi*

Reaksi ini berlangsung antara alkohol dan asam karboksilat dengan pemanasan dan penambahan sedikit asam sulfat pekat.

$$R - OH + R - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - OH \xrightarrow[\text{Penyabunan } [OH^-]]{\text{Esterifikasi } [H]} R - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - R + H_2O$$

alkohol — asam karboksilat — ester

Contoh:

$CH_3 - CH_2 - OH(l) + HONO_2(aq) \rightarrow CH_3 - CH_2 - ONO_2(aq) + H_2O(l)$
alkohol — asam nitrat — etil nitrat

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan, etos kerja,** mengembangkan **kecakapan sosial,** dan **vokasional** kalian!

Kegiatan

Reaksi Esterifikasi

Tujuan:

Mengetahui proses esterifikasi hingga menghasilkan ester.

Alat:

1. Gelas kimia
2. Tabung reaksi berlengan

3. Gabus penyumbat yang dipasangi tabung reaksi kecil
4. Pembakar spiritus (pemanas)
5. Termometer

Bahan:

1. Air
2. Etanol
3. Metanol
4. Asam asetat pekat (glasial)
5. Asam salisilat
6. Asam sulfat pekat

Cara Kerja:

1. Panaskan 100 mL air dalam gelas kimia sampai suhu 70°C.
2. Masukkan 3 mL etanol, 3 mL asam asetat pekat (glasial) dan 20 tetes asam sulfat pekat ke dalam tabung reaksi berlengan. Cium bau campuran tersebut.
3. Isi tabung reaksi kecil tersebut dengan air dingin. Kemudian masukkan perangkat tersebut ke dalam penangas air. Panaskan kira-kira 10 menit.
4. Buka gabus penyumbat yang dipasangi tabung reaksi tersebut. Cium bau campurannya.
5. Ulangi percobaan tersebut dengan menggunakan 1 sendok teh asam salisilat, 3 mL metanol, dan 20 tetes asam sulfat pekat.

Hasil Pengamatan:

1. Campuran etanol, asam asetat pekat (glasial), dan asam sulfat pekat.
   Bau sebelum pemanasan .....
   Bau sesudah dipanaskan .....
2. Campuran asam salisilat, metanol, dan asam sulfat pekat.
   Bau sebelum dipanaskan .....
   Bau sesudah dipanaskan .....

Pertanyaan:

1. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi dalam percobaan tersebut!
2. Sebutkan nama ester yang terbentuk!
3. Sebutkan bahan-bahan dapur dan bahan-bahan lain di rumah yang menurut kalian mengandung ester!

d. Reaksi Oksidasi Alkohol

Reaksi ini dapat membedakan alkohol primer, alkohol sekunder, dan alkohol tertier.

1) Alkohol Primer

Alkohol primer dengan $KMnO_4$ atau $K_2Cr_2O_7$ dalam suasana asam akan teroksidasi menjadi aldehid, selanjutnya dapat teroksidasi menjadi asam karboksilat.

$$\underset{\text{alkohol primer}}{R-CH_2-OH} \xrightarrow{KMnO_4} \underset{\text{aldehid}}{R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H} \xrightarrow{KMnO_4} \underset{\text{asam karboksilat}}{R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH}$$

2) Alkohol Sekunder

Alkohol sekunder dengan $K_2Cr_2O_7$ dalam suasana asam akan teroksida menjadi keton.

$$\underset{\text{alkohol sekunder}}{R-\overset{\overset{R}{|}}{CH}-OH} \xrightarrow{K_2Cr_2O_7 \text{ atau } CrO_3} \underset{\text{keton}}{R-\overset{\overset{R}{|}}{C}=O}$$

3) Alkohol Tertier

Alkohol tertier tidak dapat teroksidasi oleh $KMnO_4$ atau $K_2Cr_2O_7$.

2. Reaksi Eter

Reaksi yang terjadi pada senyawa eter adalah reaksi dengan asam halogenida. Eter merupakan senyawa yang tidak reaktif. Eter bereaksi dengan halogenida (H — X) pada suhu tinggi.

$$R-O-R' + HX \rightarrow R'-X + R-OH$$

Contoh:

$$\underset{\text{isopropil eter}}{CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-O-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3(l)} \xrightarrow[120^{o}\text{-}140^{o}]{HBr} \underset{\text{isopropil bromida}}{2CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-Br(l)}$$

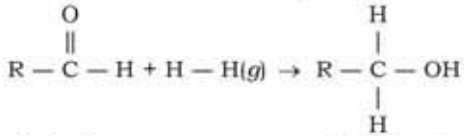
3. Reaksi-reaksi Aldehid

Aldehid mengalami reaksi-reaksi sebagai berikut:

a. Reaksi Adisi

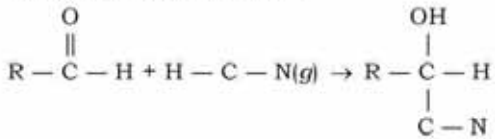
Reaksi adisi pada aldehid dapat terjadi karena adanya ikatan rangkap –C=O. Ikatan rangkap ini dapat diadisi oleh dua hal, yaitu:

1) *Adisi oleh Gas Hidrogen (H_2) Menghasilkan Alkohol Primer*



aldehid alkohol primer

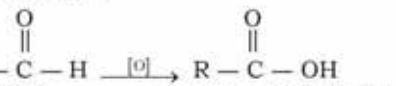
2) *Adisi oleh HCN atau NaCN*



aldehid hidroksi alkanonitril

b. Reaksi Oksidasi

Aldehid merupakan reduktor kuat yang dapat mereduksi oksidator-oksidator lemah. Oksidasi aldehid menghasilkan asam karboksilat.

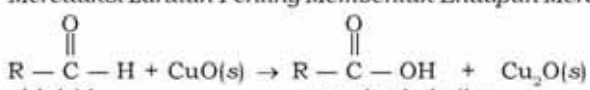


aldehid asam karboksilat

c. Reaksi Reduksi

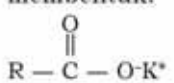
Aldehid dapat mereduksi dua hal, yaitu:

1) *Mereduksi Larutan Fehling Membentuk Endapan Merah Cu_2O*



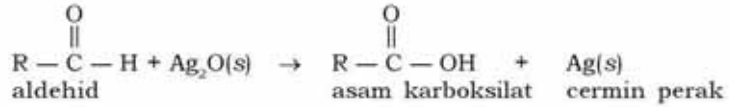
aldehid asam karboksilat

Larutan fehling mengandung KOH, maka asam karboksilat membentuk:



2) *Mereduksi Larutan Perak Amoniak (Pereaksi Tollens)*

Pereaksi tollens merupakan larutan $AgNO_3$ dalam larutan NH_3 berlebih.



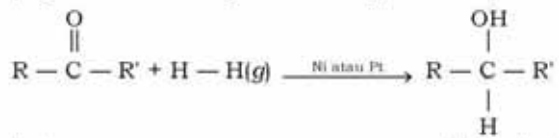
Reaksi dengan fehling dan pereaksi tollens ini merupakan reaksi identifikasi aldehid (ada tidaknya gugus fungsi –CHO) dalam suatu senyawa karbon.

4. Reaksi Keton

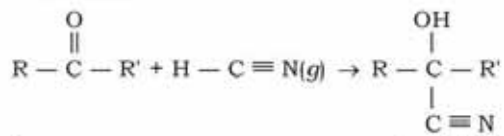
Reaksi adisi pada keton dapat terjadi karena adanya ikatan rangkap –C = O. Ikatan rangkap ini (atom C relatif lebih positif daripada atom O) dapat diadisi oleh dua hal, yaitu:

a. Adisi oleh gas hidrogen (H_2)

Adisi oleh gas hidrogen (H_2) menghasilkan alkohol sekunder (logam nikel atau platina sebagai katalis).



b. Adisi oleh HCN



5. Reaksi-reaksi Asam Karboksilat

Reaksi-reaksi pada asam karboksilat antara lain:

a. Reaksi Penetralan

Asam karboksilat bereaksi dengan basa kuat (NaOH) membentuk garam dan air. Reaksi ini digunakan untuk identifikasi dan pemisahan asam karboksilat.

R–COOH + NaOH(*aq*) → R–COONa + $H_2O(l)$

Bisa juga direaksikan dengan Na dan natrium karbonat (Na_2CO_3)

2 R–COOH + 2Na(*s*) → 2 R–COONa + $H_2(g)$

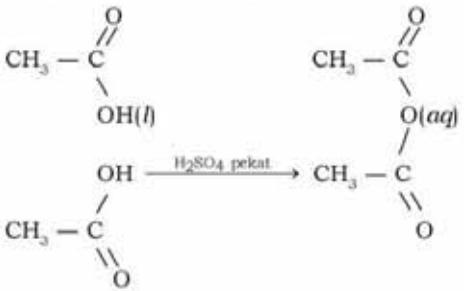
$$2\ R\text{–}COOH + Na_2CO_3(s) \rightarrow 2\ R\text{-}COONa + CO_2(g) + H_2O(l)$$

b. *Reaksi Esterifikasi*

Asam karboksilat direaksikan dengan alkohol menghasilkan senyawa ester dan air (lihat pada reaksi alkohol).

c. *Reaksi dengan H_2SO_4 Pekat atau P_2O_5*

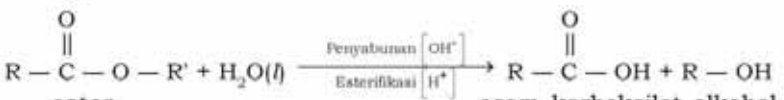
Dua asam karboksilat (kecuali asam format) bila direaksikan dengan asam sulfat pekat akan membentuk anhidrida asam.



asam etanoat anhidrida asam

6. Reaksi Ester

Ester mengalami reaksi hidrolisis (penyabunan). Reaksi ini merupakan kebalikan dari reaksi esterifikasi. Reaksi penyabunan menggunakan bantuan basa kuat encer dan dapat dihidrolisis, sehingga membentuk alkohol dan asam karboksilat.



ester asam karboksilat alkohol

7. Reaksi-reaksi Haloalkana

Haloalkana mengalami reaksi-reaksi sebagai berikut:

a. *Reaksi Substitusi Haloalkana*

Pada reaksi ini terjadi penggantian atom unsur halogen dari senyawa haloalkana dengan gugus atom dari senyawa lain.

Contoh:

1) $C_2H_5Cl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow C_2H_5OH(l) + NaCl(s)$
2) $C_2H_5Cl(aq) + NH_3(g) \rightarrow C_2H_5NH_2(aq) + HCl(g)$

b. *Reaksi Eliminasi Haloalkana*

Pada reaksi ini terjadi pengeluaran molekul HX dari senyawa haloalkana sehingga terbentuk senyawa alkena.

Contoh:

$$CH_3 - CH_2 - CH_2Cl(aq) \xrightarrow{NaOH} CH_3 - CH = CH_2(g) + HCl(g)$$

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas

1. Apa yang dimaksud dengan monohaloalkana, dihaloalkana, trihaloalkana, dan tetrahaloalkana? Sebutkan masing-masing contohnya!
2. Sebutkan cara pembuatan senyawa haloalkana dan tuliskan reaksinya!
3. Bagaimana rumus umum struktur dari alkohol, eter, aldehid, keton, asam karboksilat, dan ester?
4. Apa kegunaan dari alkohol, eter, aldehid, keton, asam karboksilat, dan ester?
5. Tuliskan nama senyawa di bawah ini:

a. $\begin{matrix} CH_2 - CH_2 \\ | \quad\quad | \\ Cl \quad\quad Cl \end{matrix}$ b. $CH_2 - CH_2 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH_2 - OH$

Rangkuman

1. Senyawa turunan alkana adalah senyawa yang dapat dianggap berasal dari alkana dengan satu atau lebih atom H diganti oleh gugus fungsi tertentu. Macamnya adalah alkanol, alkoksi alkana, alkanal, alkanon, asam alkanoat, haloalkana (alkil halida).
2. Reaksi-reaksi yang terjadi pada senyawa turunan alkana, antara lain:
   a. Reaksi-reaksi alkohol, yaitu:
      1) Reaksi substitusi gugus –OH dengan logam aktif (Na, K, Mg, dan Al).
      2) Reaksi substitusi gugus –OH dengan halogen.

3) Reaksi esterifikasi.
4) Reaksi oksidasi.

b. Reaksi pada eter adalah reaksi asam halogenida.
c. Reaksi pada aldehid adalah reaksi adisi, oksidasi, dan reduksi.
d. Reaksi pada keton adalah reaksi adisi.
e. Reaksi pada asam karboksilat adalah reaksi penetralan, reaksi esterifikasi, reaksi dengan H_2SO_4 pekat atau P_2O_5.
f. Reaksi pada ester adalah reaksi hidrolisis (penyabunan).
g. Reaksi pada haloalkana adalah reaksi substitusi dan reaksi eliminasi.

3. Isomer adalah senyawa-senyawa yang mempunyai rumus molekul sama tetapi rumus struktur berbeda. Keisomeran ada dua, yaitu keisomeran struktur (kerangka, posisi, dan fungsi) dan keisomeran ruang (geometris dan optis).

Uji Kompetensi

Kerjakan di buku tugas kalian!

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

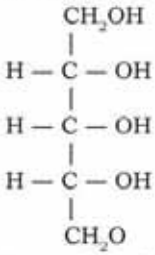
1. Gugus fungsi aldehid, ester, dan keton berturut-turut adalah . . . .
   A. —CHO, —O—, —CO
   B. —CHO, —CO, —COO—
   C. —CO, —CHO, —COO—
   D. —O—, —CHO, —COO—
   E. —CHO, —COO—, —CO

2. Rumus struktur senyawa yang menunjukkan alkohol sekunder adalah . . . .
   A. $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - OH$
   B. $CH_3 - CH_2 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}} - CH_3$
   C. $CH_3 - CH_2 - \overset{\displaystyle O}{\overset{//}{C}}\backslash OH$

D. $CH_3 - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - CH_3$

E. $CH_3 - CH_2 - \underset{\diagdown\ OCH_3}{\overset{\overset{O}{//}}{C}}$

3. Jumlah isomer optis dari senyawa dengan struktur di bawah ini adalah . . . .



A. 2
B. 4
C. 8
D. 16
E. 12

4. Senyawa haloalkana yang berfungsi sebagai antiseptik (pembunuh kuman), pendingin, dan pelarut lemak berturut-turut adalah . . . .
   A. CCl_4, $CHCl_3$, CH_2Cl_2
   B. CHI_3, CCl_2F_2, CCl_4
   C. $CHCl_3$, CCl_4, CH_2Cl_2
   D. CH_2Cl_2, $CHCl_3$, CCl_4
   E. $CHCl_3$, CH_2Cl_2, CCl_4

5. Senyawa yang berisomer dengan etil metil keton adalah . . . .
   A. etil metil eter
   B. butanal
   C. propanon
   D. asam butanoat
   E. butanol

6. Diketahui pasangan senyawa karbon berikut:
   1) *Pentanol dengan pentanal*
   2) *Pentanol dengan etoksi propana*
   3) *Pentanol dengan pentanon*
   4) *Pentana dengan pentena*
   5) *Asam asetat dengan metil asetat*

   Pasangan yang merupakan isomer fungsi yaitu nomor . . . .
   A. 5
   B. 4
   C. 3
   D. 1
   E. 2

7. Senyawa berikut yang merupakan senyawa optis aktif adalah . . . .
   A. 1-butanol
   B. 2-butanol
   C. 1,1,1-trikloroetana
   D. glisina
   E. metil etanoat
8. Senyawa yang memiliki sifat mudah menguap, uapnya lebih berat daripada udara, mudah terbakar, beracun, dan digunakan untuk obat bius adalah . . . .
   A. alkohol
   B. eter
   C. aldehid
   D. keton
   E. ester
9. Berikut ini pernyataan yang benar adalah . . . .
   A. keisomeran kerangka yaitu mempunyai rumus molekul dan gugus fungsi yang sama, tetapi berbeda rantai induknya
   B. keisomeran kerangka yaitu mempunyai rantai induk dan gugus fungsi yang sama, tetapi berbeda rumus molekulnya
   C. keisomeran posisi yaitu mempunyai rumus molekul, gugus fungsi, kerangka, letak (posisi) gugus fungsi yang sama
   D. keisomeran posisi yaitu mempunyai rumus molekul dan letak (posisi) gugus fungsi yang sama
   E. keisomeran posisi yaitu mempunyai rumus molekul dan kerangka yang sama, tetapi berbeda gugus fungsinya
10. Hasil utama reaksi antara etanol dengan asam sulfat pekat pada suhu 130°C adalah . . . .
   A. etana
   B. etena
   C. etil eter
   D. asam asetat
   E. metil propil keton

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

1. Tuliskan struktur senyawa berikut, kemudian tandai gugus fungsi yang terdapat di dalamnya!
   a. Metanol
   b. Aseton
   c. Propanal
   d. Asam asetat
   e. Etil asetat
   f. Etil klorida
2. Tentukan rumus dan fungsi dari senyawa berikut ini!
   a. Asam format
   b. Kloroform
   c. Iodoform
   d. Formalin
   e. Asam asetat

3. Tentukan jenis keisomeran dari masing-masing pasangan senyawa berikut ini!

a. $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$ dan $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-OH$

1-butanol — 2-metil-1-propanol

b. $CH_3-CH_2-CH_2-\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-H$ dan $CH_3-CH_2-\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$

butanal — 2-butanon

c. $\begin{matrix} CH_3 & CH_3 \\ \backslash & / \\ C=C \\ / & \backslash \\ H & H \end{matrix}$ $\begin{matrix} CH_3 & H \\ \backslash & / \\ C=C \\ / & \backslash \\ H & CH_3 \end{matrix}$

cis-2-butena — *trans*-2-butena

4. Lengkapilah persamaan reaksi berikut dan tentukan jenis reaksinya!

a. $\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ 2CH-OH \\ | \\ CH_3 \end{matrix} + Mg \rightarrow \ldots.$

b. $CH_3-CH_2-OH + PCl_5 \rightarrow \ldots.$

c. $\begin{matrix} R \\ | \\ R-CH-OH \end{matrix} \xrightarrow{K_2Cr_2O_7 \text{ atau } CrO_3} \ldots.$

5. Tulislah masing-masing satu contoh reaksi di bawah ini!
   a. Eliminasi pada alkil halida
   b. Esterifikasi
   c. Hidrolisis ester
   d. Oksidasi pada aldehid
   e. Substitusi pada alkohol

Bab V

Benzena dan Turunannya

Sumber gambar: www.wikipedia.org

Tujuan Pembelajaran:

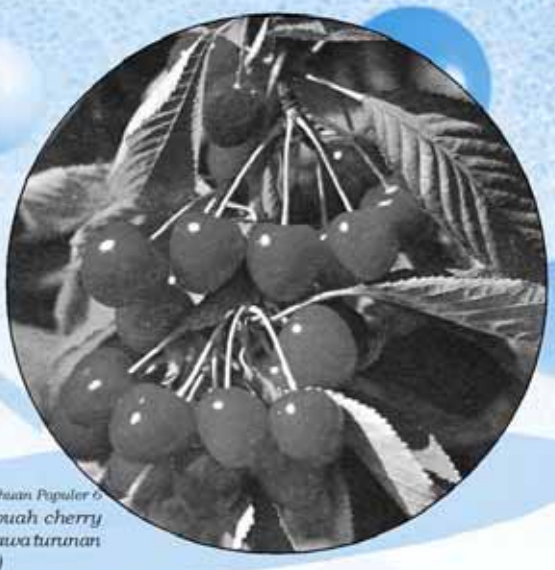
Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan rumus struktur dan sifat aromatik benzena, rumus struktur dan tata nama turunan benzena, sifat benzena dan turunannya, reaksi benzena, serta kegunaan senyawa benzena dan turunannya.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Benzena
2. Turunan benzena



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer 6*

Gambar 5.1 *Aroma buah cherry ditimbulkan oleh senyawa turunan benzena (benzaldehid)*

Kalian sering menjumpai orang merokok, bukan? Kalian perlu hati-hati jika berdekatan dengan perokok meskipun kalian sendiri tidak merokok. Berdasarkan hasil penelitian, ternyata rokok mengandung benzena, yaitu suatu senyawa yang diketahui sangat beracun dan dapat menimbulkan kanker serta leukemia.

Benzena juga memiliki senyawa turunan. Salah satu senyawa turunan benzena yaitu benzaldehid yang dapat kita jumpai di alam dalam bentuk aroma buah *cherry* (Gambar 5.1) dan *almond* (kacang kenari). Di samping itu, pernahkah kalian menggunakan kayu manis dalam masakan atau pembuatan kue? Kayu manis yang memiliki aroma khas ini juga mengandung senyawa turunan benzena yaitu senyawa sinamaldehid. Sebenarnya masih banyak sekali senyawa benzena dan turunannya dalam kehidupan sehari-hari.

A. Rumus Struktur Benzena dan Sifat Aromatiknya

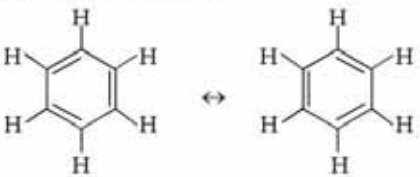
Benzena termasuk senyawa karbosiklik, yaitu senyawa karbon yang mempunyai rantai karbon tertutup. Di antara senyawa karboksiklik, benzena mempunyai struktur dan aroma khas sehingga sering disebut *senyawa aromatik*. Benzena dapat diperoleh dari penyulingan bertingkat batu bara atau dari minyak bumi. Berdasarkan perbandingan massa atom-atom penyusunnya serta massa molekul relatifnya, benzena mempunyai rumus molekul C_6H_6. Bagaimana rumus strukturnya?

Sejak benzena ditemukan oleh Michael Faraday, selanjutnya bermunculan teori tentang struktur molekul benzena tersebut. Pada tahun 1865, **August Kekule** mengemukakan pendapatnya tentang struktur benzena dan masih berlaku sampai sekarang. Menurut Kekule, senyawa benzena berbentuk siklik (rantai tertutup) dan segi enam beraturan (heksagonal) dengan sudut antaratom karbon 120°. Setiap atom C mengikat satu atom C yang lain, sehingga terdapat tiga buah ikatan rangkap dua yang berselang-seling dengan ikatan tunggal. Ikatan rangkap dan ikatan tunggal yang berselang-seling pada benzena itu disebut *ikatan rangkap terkonjugasi.*



Sumber: *Jendela Iptek*

Gambar 5.2 *August Kekule*



Struktur tersebut dapat digambarkan berupa cincin segi enam tanpa digambarkan atom C dan atom H-nya. Setiap sudut dari segi enam disepakati merupakan atom C.



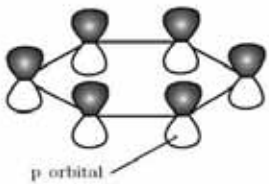
Tanda panah dua arah (↔) menunjukkan struktur tersebut adalah *struktur resonansi.* Resonansi merupakan perubahan posisi elektron pada atom-atom dalam suatu senyawa. Jika dimasukkan suatu pereaksi ke dalam molekul benzena, kumpulan elektron pada ikatan rangkap akan berpindah ke ikatan tunggal sehingga ikatan tunggal menjadi ikatan rangkap. Hal ini berlangsung terus-menerus secara dinamis sehingga menyulitkan terjadinya reaksi adisi.

Adanya struktur yang dinamis dengan letak ikatan rangkap yang setiap saat terus-menerus berpindah pada molekul benzena membuat struktur resonansi dapat digambarkan dalam bentuk segi enam dengan resonansi elektron diwakili oleh bulatan di tengah cincin  .

Info Kimia

Senyawa benzena ditemukan oleh **Michael Faraday (1791 – 1867)**, dari suatu gas yang digunakan untuk lampu penerangan. Senyawa tersebut diberi nama *benzena*. Nama benzena adalah nama trivial yang sudah lazim digunakan, sedangkan nama IUPAC-nya adalah 1,3,5-sikloheksatriena. Nama trivial lebih sering digunakan daripada nama IUPAC.

Jadi elektron-elektron ikatan dalam molekul benzena selalu akan terdelokasi yang menyebabkan struktur cincin benzena. Terjadinya delokasi elektron dalam molekul benzena ini, disebabkan oleh adanya orbital-orbital *p* bebas pada setiap atom C. Orbital yang saling bertindihan sisi membentuk cincin awan elektron yang mengapit cincin benzena di sebelah atas dan bawahnya seperti gambar berikut:



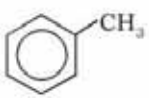
Setiap atom C pada cincin benzena memiliki sifat dan fungsi yang sama. Hal ini dapat disimpulkan berdasarkan panjang ikatan antaratom C. Semua ikatan antaratom C dalam cincin benzena panjangnya sama, yaitu 140 pikometer (140 pm). Ikatan ini lebih pendek daripada ikatan tunggal C–C (154 pm) dan lebih panjang daripada ikatan rangkap C=C (133 pm). Semua ikatan antaratom C memiliki panjang yang sama, sehingga karakter dan fungsi setiap atom C dari benzena tersebut juga sama.

B. Struktur dan Tata Nama Turunan Benzena

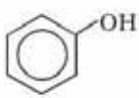
Benzena memiliki senyawa turunan yang struktur dan tata namanya seperti berikut ini.

1. Turunan Benzena dengan Satu Gugus Fungsional

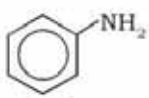
Penamaan senyawanya dengan menyebutkan nama gugus yang menggantikan atau mensubstitusi atom hidrogen, kemudian diakhiri benzena.



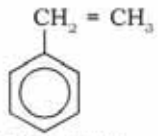
metilbenzena
(toluena)



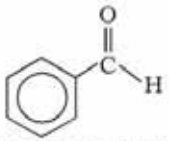
hidroksilbenzena
(fenol)



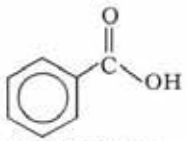
aminobenzena
(anilin)



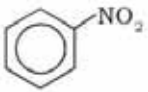
etilbenzena



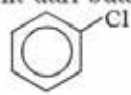
benzaldehid (rasa pahit dari buah almond)



asam benzoat



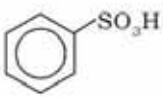
nitrobenzena



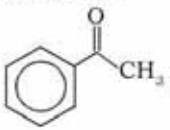
klorobenzena



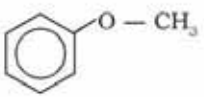
bromobenzena



asam benzena-sulfonat



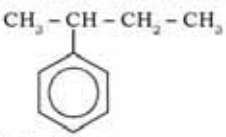
asetofenon (metil fenil keton)



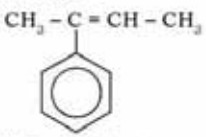
anisol (metil fenil eter)

2. Turunan Benzena dengan Gugus Fenil

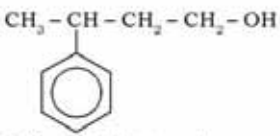
Fenil terbentuk jika benzena melepaskan satu atom H. Fenil dalam senyawa berikut berperan sebagai *substituen*. Cara penamaannya dengan menyebutkan posisi gugus fenil, kemudian diikuti nama rantai induknya.



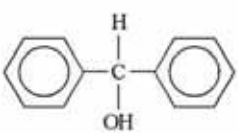
2-fenilbutana



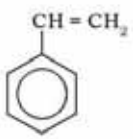
2-fenil-2-butena



3-fenil-1-butanol



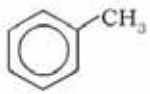
difenilmetanol (difenilkarbinol)



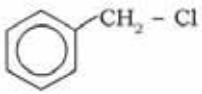
feniletilena (stirena)

3. Turunan Benzena dengan Gugus Metil

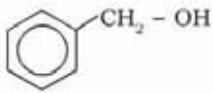
Senyawa turunan benzena ini terbentuk karena substitusi atom hidrogen (dapat berupa klorin, gugus hidroksi, atau amina) pada toluena.



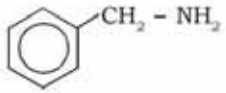
toluena



benzil klorida



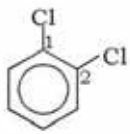
benzil alkohol



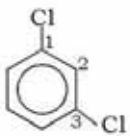
benzilamina sinamaldehid (dari kayu manis)

4. Turunan Benzena dengan Dua Gugus Fungsional

Jika suatu senyawa mempunyai 2 gugus fungsional maka akan memiliki 3 buah isomer, yaitu isomer posisi *orto* (*o*-), *meta* (*m*-), dan *para* (*p*-). Posisi *orto* artinya posisi (1,2), *meta* artinya posisi (1,3), sedangkan *para* artinya posisi (1,4).



1,2-diklorobenzena



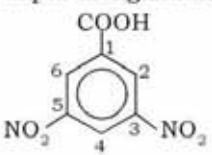
1,3-diklorobenzena



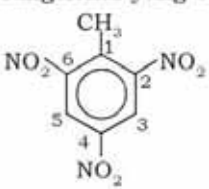
1,4-diklorobenzena

5. Turunan Benzena dengan Dua/Lebih Gugus Fungsional

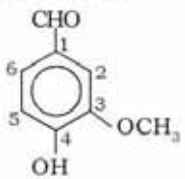
Senyawa turunan benzena dengan tiga gugus fungsional ini dapat mengandung gugus fungsional yang sama atau berbeda.



asam 3,5-dinitrobenzoat



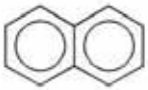
2,4,6-trinitrotoluena



vanilin

6. Turunan Benzena dari Gabungan Cincin Benzena

Senyawa turunan benzena ini memiliki struktur molekul yang terdiri dari dua atau lebih cincin benzena yang bergabung pada posisi tertentu.



naftalena



antrasena



fenantrena



pirena

C. Sifat dan Reaksi Benzena

Benzena mempunyai sifat fisik dan kimia.

1. Sifat Fisik

Benzena mempunyai sifat sebagai zat cair yang mudah menguap dan tidak berwarna. (Gambar 5.3).



Sumber: *Jendela Iptek 7*

Gambar 5.3 *Benzena*

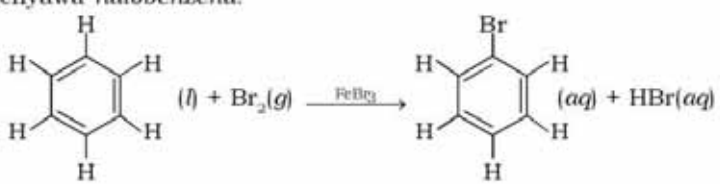
2. Sifat Kimia

Benzena merupakan zat beracun, kurang reaktif, tetapi mudah terbakar. Jika senyawa benzena bereaksi, pada umumnya jenis reaksi substitusi dan sedikit yang reaksi adisi.

Adapun reaksi-reaksi yang terjadi pada benzena sebagai berikut:

1. Substitusi Atom H dengan Atom Halogen (Reaksi Halogenisasi)

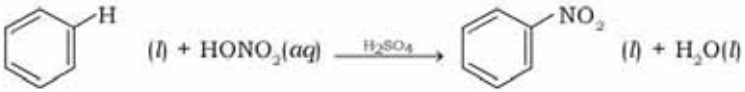
Reaksi halogenisasi merupakan reaksi substitusi atom H dari benzena diganti dengan atom halogen dengan bantuan katalis, seperti besi(III) halida, $AlCl_3$, dan $SbCl_3$ sehingga menghasilkan senyawa *halobenzena*.



benzena bromobenzena

2. Substitusi Atom H dengan Gugus Nitro (Reaksi Nitrasi)

Reaksi ini merupakan reaksi benzena dengan asam nitrat pekat (HNO_3 atau $HONO_2$) dengan katalis H_2SO_4 pekat. Atom H digantikan oleh gugus NO_2 sehingga diperoleh reaksi berupa senyawa *nitrobenzena*.



benzena nitrobenzena

3. Substitusi Atom H dengan Gugus Alkil (Reaksi Alkilasi Friedel-Crafts)

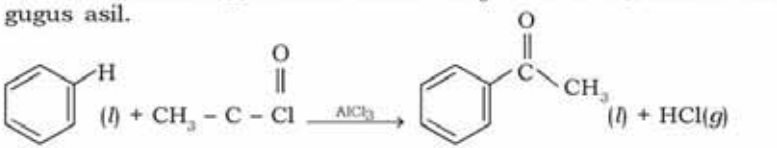
Reaksi ini merupakan reaksi benzena dengan alkil halida dengan katalis $AlCl_3$. Produk yang dihasilkan disebut *alkil benzena*.



benzena metilklorida metilbenzena (toluena)

4. Substitusi Atom H dengan Gugus Asil (Reaksi Asilasi Friedel-Crafts)

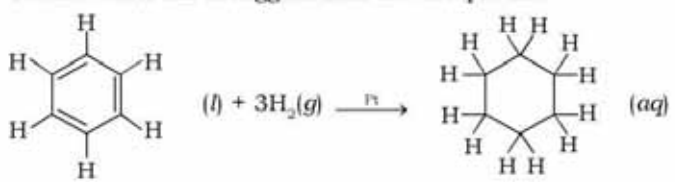
Reaksi ini menggunakan katalis $AlCl_3$. Atom H digantikan oleh gugus asil.



benzena asetofenon asam klorida

5. Adisi Benzena dengan Gas Hidrogen

Reaksi adisi ini menggunakan katalis platina.



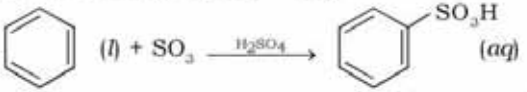
benzena sikloheksana

6. Substitusi Atom H dengan Gugus Sulfonat (Reaksi Sulfonasi)

Reaksi ini merupakan reaksi benzena dengan asam sulfat ($HOSO_3H$) disertai pemanasan yang akan menghasilkan *asam benzenasulfonat.*



Reaksi ini akan lebih cepat jika asam sulfat digantikan oleh asam sulfat berasap ($H_2SO_4 + SO_3$).



asam benzenasulfonat

D. Kegunaan Benzena dan Turunannya

Benzena dan turunannya berguna dalam kehidupan sehari-hari, antara lain:

1. Benzena (C_6H_6)

Benzena digunakan sebagai pelarut berbagai zat. Di samping itu untuk bahan baku pembuatan senyawa aromatik lain, seperti toluena dan fenol. Benzena juga termasuk bahan baku untuk sintetis berbagai senyawa karbon lain berbentuk polimer. Misalnya, polimerisasi dari stirena ($C_6H_5 - CH = CH_2$) membentuk polistirena (karet sintetis).

2. Fenol (C_6H_5OH)

Fenol merupakan kristal tak berwarna, berbau tajam, dan bersifat antiseptik. Jika mengenai kulit manusia, dapat menimbulkan luka bakar. Berguna pada pemurnian minyak pelumas, untuk antiseptik (dikenal sebagai karbol yaitu campuran fenol dalam air), dan bahan baku pembuatan plastik.

3. Asam Benzoat (C_6H_5COOH)

Asam benzoat merupakan asam lemah dan bersifat sebagai pengawet. Dalam kehidupan sehari-hari diperdagangkan dalam bentuk garam natrium benzoat yang banyak digunakan sebagai

pengawet makanan dan minuman, misalnya untuk kecap (Gambar 5.4), minuman ringan, dan selai.



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 5.4 *Kecap biasanya mengandung pengawet berupa asam benzoat*

4. Fenil Klorida atau Monoklorobenzena (C_6H_5–Cl)

Digunakan dalam industri cat dan untuk mensintesis senyawa-senyawa lain seperti DDT (dikloro-difenilkloroetana) dan BHC (benzena heksaklorida). DDT dan BHC merupakan senyawa yang sangat beracun dan digunakan sebagai insektisida.

5. Asam Benzena Sulfonat ($C_6H_5SO_3H$)

Asam benzena sulfonat sebagai bahan dasar pembuatan fenol dan detergen (Gambar 5.5), Na-alkilbenzena sulfonat.



Sumber: *Sains dan Kehidupan*

Gambar 5.5 *Asam benzena sulfonat digunakan sebagai bahan pembuatan detergen*

6. Nitrobenzena ($C_6H_5NO_2$)

Nitrobenzena merupakan bahan dasar pembuatan anilin secara reduksi dalam industri. *Anilin* digunakan dalam industri zat warna dan obat sulfa yaitu 4-amino benzensulfonamida untuk antibakteri.

7. Toluena atau Metil Benzena ($C_6H_5CH_3$)

Campuran dari toluena, HNO_3 pekat, dan H_2SO_4 pekat akan membentuk senyawa 2,4,6-trinitrotoluena (TNT) yang merupakan bahan peledak. Apabila TNT dioksidasi dengan Na_2CrO_7 dalam H_2SO_4 pekat akan terbentuk trinitrobenzena (TNB) yang mempunyai daya ledak lebih kuat dibanding TNT. Toluena juga digunakan untuk membuat senyawa-senyawa lain, seperti benzaldehid dan asam benzoat.

Info Kimia

Bahan peledak TNT banyak digunakan dalam Perang Dunia I (1914 – 1918). Toulena yang didapatkan dari ter batu bara di sini dinitrasi dengan menuangkannya ke dalam asam nitrat dan sulfur pekat untuk menghasilkan trinitro toluena (TNT).

Sumber: *Jendela Iptek 7*

8. Asam Salisilat ($C_6H_4(OH)COOH$)

Asam salisilat merupakan kristal putih, tidak berbau, dan rasanya manis. Tidak larut dalam air dingin, tetapi mudah larut dalam air panas, dan dapat bereaksi dengan asam atau alkohol membentuk senyawa ester benzena. Banyak digunakan untuk obat gosok yang diperdagangkan dengan nama minyak gondopuro (Gambar 5.6).

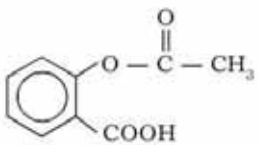


Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 5.6 *Minyak gondopuro mengandung asam salisilat*

9. Asam Asetil Salisilat

Rumus asetil salisilat adalah:



Asetil salisilat banyak diperdagangkan dalam bentuk obat pusing dengan nama aspirin, asetosal, dan sebagainya.

10. Paracetamol

Dikenal dengan nama asetaminofen, khasiatnya sama seperti aspirin (Gambar 5.7), tetapi lebih aman untuk lambung. Penggunaan parasetamol yang berlebihan dapat menimbulkan gangguan pada ginjal dan hati.

11. BHT dan BHA

Senyawa ini digunakan untuk mencegah bau tengik pada minyak dan mentega (Gambar 5.7). Tengik pada makanan disebabkan karena adanya antioksidan dalam makanan berlemak sehingga menghambat proses oksidasi lemak.

Penggunaan BHT dan BHA yang berlebihan pada makanan dapat menimbulkan reaksi alergi, terutama pada anak-anak. Apabila jumlah besar dalam tubuh dapat menimbulkan tumor pada jantung dan hati.



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 5.7 *Mentega yang diberi BHT dan BHA untuk mencegah ketengikan*

Serba-serbi Kimia

Bahan Rokok

Mungkin kalian sudah tahu bahwa menghisap asap rokok orang lain di dekat kalian ... *Asap utama* adalah asap rokok yang terhisap langsung masuk ke paru-paru perokok lalu dihembuskan kembali.

Asap samping adalah asap rokok yang dihasilkan oleh ujung rokok yang terbakar. Masalahnya adalah, udara yang mengandung asap rokok yang kalian hisap akan mengganggu kesehatan, karena asap rokok mengandung banyak zat-zat berbahaya, di antaranya:

1. *Tar*: Mengandung bahan kimia yang beracun, yang bisa merusak sel paru-paru dan menyebabkan kanker.
2. *Karbon Monoksida (CO)*: Gas beracun yang dapat mengakibatkan berkurangnya kemampuan darah membawa oksigen.
3. *Nikotin*: Salah satu jenis obat perangsang yang dapat merusak jantung dan sirkulasi darah, nikotin membuat pemakainya kecanduan.

Bila kalian berada di ruangan berasap rokok cukup lama, maka ketiga zat beracun di atas akan masuk ke paru-paru kalian. Bagaimana sikap kalian menghadapi masalah ini? Apa yang akan kalian lakukan? Hal-hal yang dapat kalian lakukan antara lain:

1. Komunikasikan dan beri informasi tentang bahaya merokok, baik bagi perokok langsung maupun perokok pasif.
2. Menyediakan tempat-tempat khusus bagi orang yang merokok agar yang bukan perokok tidak terkena dampak negatifnya.
3. Jangan merasa segan untuk menegur perokok jika kalian merasa terganggu.

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontekstual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

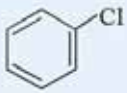
Tugas

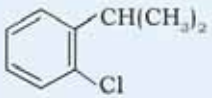
1. Bagaimana rumus struktur benzena dan sifat aromatiknya?
2. Tuliskan reaksi dari senyawa berikut!

a.  $+ HNO_3 \xrightarrow{H_2SO_4}$

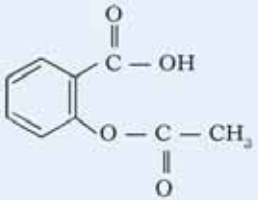
b.  $+ Cl_2 \xrightarrow{FeCl_3}$

3. Tuliskan nama senyawa turunan benzena di bawah ini!

a. 

b. 

4. Sebutkan nama senyawa di bawah ini dan kegunaannya!



5. Tuliskan rumus bangun dari senyawa berikut dan sebutkan gugus apa yang dikandungnya!
   a. Toluena
   b. Fenol
   c. Benzil alkohol
   d. Asam salisilat
   e. Asam benzoat
   f. Amino benzena
   g. Benzaldehid
   h. Asam benzena sulfonat
   i. Vinil benzena

Kegiatan

Sintesis Fenil Benzoat

Tujuan:
Menyintesis senyawa turunan benzena fenil benzoat.

Alat:

1. Botol reagen bermulut lebar dengan tutup gabus
2. Penyaring Buchner
3. Penyaring panas
4. Corong gelas
5. Pengaduk gelas
6. Erlenmeyer
7. Gelas beker
8. Oven atau pengering

Bahan:

1. NaOH 10%
2. Benzoil klorida
3. Fenol

Cara Kerja:

1. Campurkan larutan fenol dengan NaOH 10% dalam botol reagen mulut besar.
2. Masukkan fenil klorida ke dalam larutan fenol dan tutup dengan gabus.
3. Kocok campuran dengan kuat selama 15 menit sampai terbentuk serbuk padat (agar aman gunakan kain serbet untuk membungkus botol reagen ketika mengocoknya).
4. Saring padatan yang terjadi dengan penyaring Buchner.
5. Cuci padatan dengan air.
6. Keringkan dalam oven atau pengering yang ada.

Hasil Pengamatan:

Langkah	Perlakuan	Pengamatan
1	Fenol + NaOH	.....
2	Fenol + NaOH + fenil klorida	.....
3	Pengeringan padatan	.....

Pertanyaan:

1. Apa fungsi NaOH dalam percobaan tersebut?
2. Mengapa NaOH encer?
3. Diskusikan dengan teman satu kelompok kemudian buatlah kesimpulannya!

Rangkuman

1. Setiap atom C pada cincin benzena memiliki sifat dan fungsi yang sama karena semua ikatan antaratom C memiliki panjang yang sama.
2. Senyawa turunan benzena, misalnya: fenol (C_6H_5OH), asam benzoat (C_6H_5COOH), fenil klorida (C_6H_5Cl), nitrobenzena ($C_6H_5NO_2$), asam benzena sulfonat ($C_6H_5SO_3H$), toluena ($C_6H_5CH_3$), asam salisilat ($C_6H_4(OH)COOH$), dan lain-lain.
3. Sifat benzena antara lain:
   a. Merupakan zat cair yang mudah menguap dan tidak berwarna.
   b. Merupakan zat beracun, kurang reaktif, tetapi mudah terbakar.

c. Jika senyawa benzena bereaksi, pada umumnya jenis reaksi substitusi dan sedikit yang reaksi adisi.

4. Reaksi pada benzena, antara lain:
   a. Reaksi halogenisasi.
   b. Reaksi nitrasi.
   c. Reaksi alkilasi Friedel-Crafts.
   d. Reaksi asilasi Friedel-Crafts.
   e. Adisi benzena dengan gas hidrogen.
   f. Reaksi sulfonasi.

Uji Kompetensi

Kerjakan di buku tugas kalian!

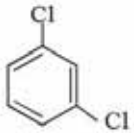
A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *A*, *B*, *C*, *D*, atau *E*!

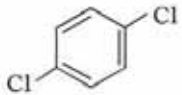
1. Senyawa benzena dan turunannya termasuk golongan senyawa . . . .
   A. alifatik
   B. alkohol
   C. asam karboksilat
   D. aromatik
   E. hidrokarbon

2. Benzena lebih mudah mengalami reaksi substitusi daripada reaksi adisi karena . . . .
   A. resonansi proton
   B. perpindahan atom H
   C. resonansi neutron
   D. perpindahan atom C
   E. resonansi elektron

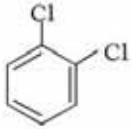
3. Senyawa yang dapat digunakan untuk bahan pengawet makanan adalah . . . .
   A. fenol
   B. benzaldehid
   C. asam benzoat
   D. anilin
   E. trinitrotoluena

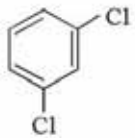
4. Senyawa *o*-diklorobenzena mempunyai rumus yang sesuai dengan . . . .

A. 

B. 

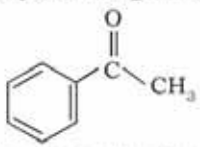
C. 

D. 

E. 

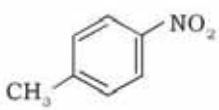
5. Senyawa turunan benzena yang dapat digunakan untuk disinfektan adalah . . . .
   A. anilin
   B. asam benzoat
   C. fenil klorida
   D. toluena
   E. fenol

6. Senyawa dengan rumus berikut mempunyai nama . . . .



   A. toluena
   B. asetofenon
   C. asam benzoat
   D. benzaldehid
   E. sinamaldehid

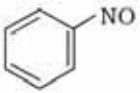
7. Nama yang tepat untuk senyawa berikut adalah . . . .

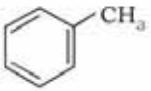


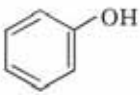
   A. *n*-nitrotoluena
   B. *m*-nitrotoluena
   C. *p*-nitrotoluena
   D. *o*-nitrotoluena
   E. *a*-nitrotoluena

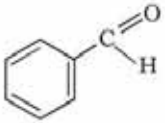
8. Rumus molekul asam salisilat adalah . . . .
   A. C_6H_6O
   B. C_7H_8O
   C. $C_7H_7O_2$
   D. $C_7H_8O_2$
   E. C_7H_7O

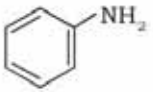
9. Turunan dari benzena yang bersifat asam adalah . . . .

A. 

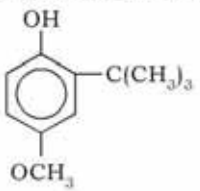
B. 

C. 

D. 

E. 

10. Zat aditif dalam makanan dengan rumus struktur seperti gambar di bawah ini, sering ditambahkan dalam makanan. Adapun fungsi senyawa tersebut sebagai . . . .

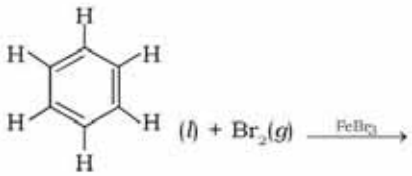


A. pengawet
B. pewarna
C. pemanis
D. antioksidan
E. sekuestran

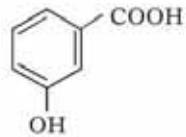
B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Tulislah reaksi pembuatan senyawa berikut ini!
   a. Toluena dari benzena
   b. Asetofenon dari benzena
2. Jelaskan bahwa setiap atom C pada cincin benzena fungsinya sama!
3. Bagaimana sifat kimia dan sifat fisika dari benzena serta turunannya?

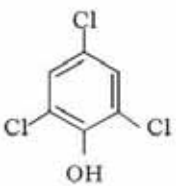
4. Ramalkan senyawa yang terbentuk pada reaksi berikut ini!

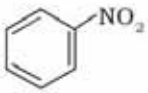


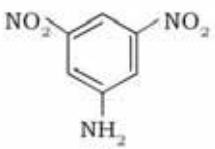
5. Tentukan nama senyawa berikut!

a. 

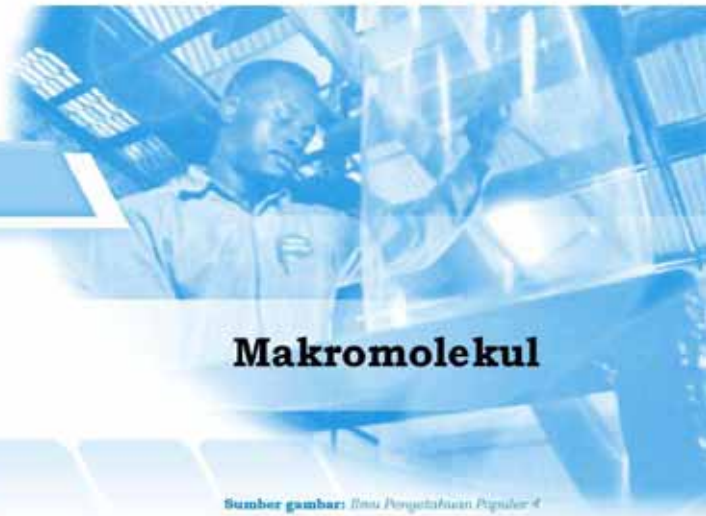
b. 

c. 

d. 

e. 

Bab VI



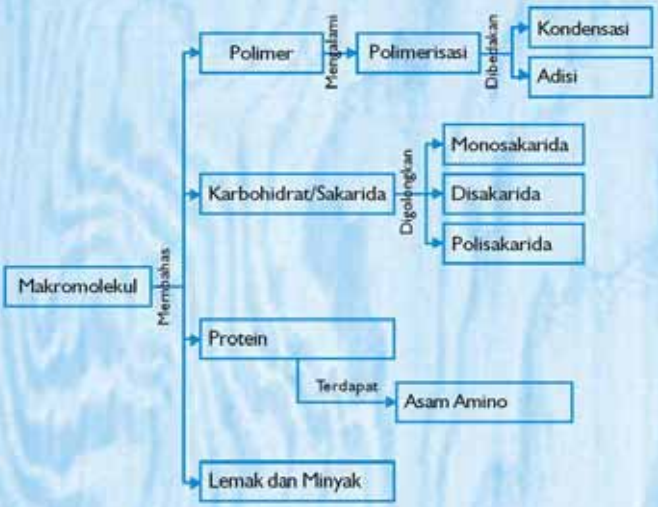
Makromolekul

Sumber gambar: *Ilmu Pengetahuan Populer 4*

Tujuan Pembelajaran:

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan reaksi pembentukan, penggolongan, macam, fungsi, dan dampak penggunaan polimer dalam kehidupan serta struktur, tata nama, penggolongan, dan fungsi karbohidrat, protein, dan lemak dalam kehidupan.

Untuk mempermudah mempelajari bab ini, perhatikan **peta konsep** berikut!



Dalam bab ini, kalian akan menemukan beberapa **kata kunci**, antara lain:

1. Polimer
2. Polimerisasi
3. Sakarida
4. Protein
5. Asam amino
6. Lemak
7. Minyak



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer 6*

Gambar 6.1 *Jaring laba-laba merupakan salah satu polimer alam yang sangat kuat*

Jaring laba-laba adalah salah satu contoh polimer alam. Polimer ini walaupun terkesan biasa, tapi ternyata memiliki kekuatan yang besar. Jika dibandingkan baja dengan ketebalan yang sama, maka jaring laba-laba lebih kuat daripada baja. Polimer disebut juga dengan senyawa makromolekul, karena dapat terdiri dari beribu-ribu bahkan jutaan monomer (unit molekul terkecil).

Kalian tentu sering sarapan pagi sebelum berangkat sekolah, bukan? Sarapan pagi yang kadang cuma terdiri dari nasi dan telur goreng merupakan contoh dari makromolekul. Nasi merupakan karbohidrat, telur adalah protein, dan minyak untuk menggoreng telur tersebut adalah lemak. Ketiganya yaitu karbohidrat, protein, dan lemak merupakan makromolekul yang kita kenal sehari-hari.

A. Polimer

Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *poly* = banyak dan *meros* = unit atau bagian. Oleh karena itu **polimer** adalah senyawa yang besar dan terbentuk dari hasil penggabungan sejumlah unit-unit molekul yang kecil. Unit molekul kecil sendiri disebut **monomer**. Polimer bisa tersusun dari beribu-ribu bahkan jutaan monomer, sehingga bisa disebut juga dengan **senyawa makromolekul**.

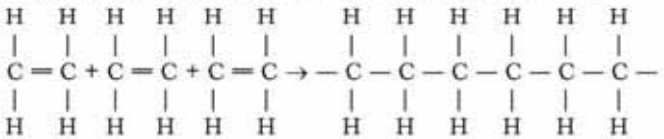
Contoh senyawa polimer antara lain karbohidrat, protein, lemak, karet alam, dan plastik, seperti plastik PE (polietilena), plastik PP (polipropilena), plastik PET (polietilen tereftalat), plastik PVC (polivinil klorida), plastik PS (polistirena), teflon, serta nilon.

1. Pembentukan Polimer

Ada dua macam cara bergabungnya monomer-monomer membentuk polimer yaitu melalui polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi.

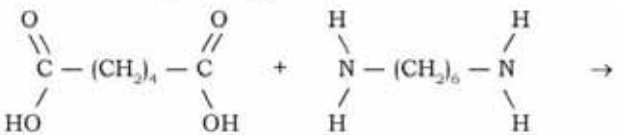
a. Polimerisasi Adisi

Pada polimerisasi adisi, molekul-molekul monomer yang berikatan rangkap bergabung satu dengan lain membentuk rantai panjang. Misalnya pembentukan etilen sebagai berikut:

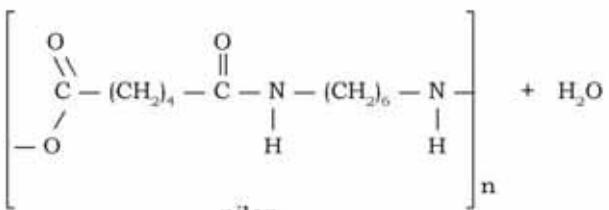


b. Polimerisasi Kondensasi

Pada polimerisasi kondensasi, monomer-monomer bergabung dengan membebaskan molekul sederhana yang biasanya adalah H_2O. Sebagai contoh pembuatan nilon dari 2 macam monomer, yaitu asam adipat dengan 1,6-diaminoheksana melalui reaksi:



asam adipat 1,6-diaminoheksana



nilon

2. Penggolongan Polimer

Penggolongan polimer dapat dibedakan berdasarkan asalnya, jenis monomer, pembentuknya, dan sifat polimer tersebut.

a. Penggolongan Berdasarkan Asal Polimer

1) Polimer Alam

Polimer alam adalah polimer yang terbentuk secara alami, dihasilkan oleh makhluk hidup. Contohnya protein, amilum, selulosa, glikogen, karet alam (poliisoprena), wol, sutra, jaring-jaring benang pada sarang laba-laba, dan katun. Umumnya polimer alam mudah mengalami kerusakan, seperti yang dihasilkan oleh ulat dan rayap. Namun ada juga yang lebih kuat dibanding sehelai benang baja dengan ukuran yang sama yaitu benang laba-laba.

2) Polimer Sintetis

Polimer ini terbentuk dari hasil bahan-bahan kimia. Contoh polimer ini adalah plastik PE (polietilena), plastik PP (polipropilena), plastik PET (polietilen tereftalat), plastik PVC (polivinil klorida), plastik PS (polistirena), teflon, nilon (poliamida), serta karet sintetis.

Tabel 6.1 Polimer Alam dan Polimer Sintetik

Jenis	Polimer	Monomer	Polimerisasi	Terdapatnya
Alam	Protein	Asam amino	Kondensasi	Wol, sutra
	Amilum	Glukosa	Kondensasi	Kentang, gandum
	Selulosa	Glukosa	Kondensasi	Kertas, kayu
	DNA	Nukleotida	Kondensasi	Kromosom, gen
	Karet	Isoprena	Adisi	Ban, sepatu
Sintetik	Polietilen	Etena	Adisi	Tas, ember
	PVC	Vinilklorida	Adisi	Isolator listrik, pipa
	Polistiren	Stirena	Adisi	Mainan
	Poliester	Etan-1,2-diol dan benzena -1,2-dikarbok-silat	Kondensasi	Pakaian
	Nilon	1,6-diamino-heksana dan asam adipat	Kondensasi	Kaos kaki

b. Penggolongan Berdasarkan Jenis Monomer

1) Homopolimer

Polimer ini terbentuk dari monomer yang sama. Contohnya adalah plastik PE (polietilena), plastik PP (polipropilena), plastik PVC (polivinil klorida), teflon, karet alam, amilum, dan selulosa.

Info Kimia

Plastik pertama yang pernah dihasilkan adalah *parkesin*. Parkesin dibuat oleh seorang ahli kimia Inggris, Alexander Parkes tahun 1862. Bila dipegang, rasa dan tampilan seperti gading.

2) Kopolimer

Polimer ini terbentuk dari monomer yang berbeda. Contohnya adalah plastik PET (polietilen tereftalat), nilon, bakelit, dan protein.

Berdasarkan susunan monomernya, kopolimer digolongkan menjadi empat, yaitu:

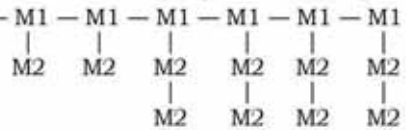
a) Kopolimer bergantian, terbentuk dari monomer berbeda dan bergantian secara teratur.

— M1 — M2 — M1 — M2 — M1 — M2 —

b) Kopolimer blok, terbentuk dari monomer dalam jumlah tertentu secara teratur.

— M1 — M1 — M1 — M2 — M2 — M2 — M1 — M1 — M1 —

c) Kopolimer bercabang, terbentuk dari monomer sejenis dan monomer lain yang terikat sebagai cabang.



d) Kopolimer tidak teratur, terbentuk dari monomer berbeda dan terikat secara tidak teratur.

— M1 — M1 — M2 — M2 — M2 — M1 — M2

c. Penggolongan Berdasarkan Sifat Polimer

1) Termoplastik

Merupakan jenis polimer yang melunak ketika terkena panas dan mengeras kembali setelah didinginkan (dapat dipanaskan berulang-ulang). Contohnya adalah plastik PE (polietilena), plastik PP (polipropilena), plastik PET (polietilen tereftalat), dan plastik PVC (polivinil klorida).

2) Termosetting

Merupakan jenis polimer yang tetap keras (tidak lunak) ketika terkena panas atau hanya dapat dipanaskan satu kali yaitu pada saat pembuatannya, selanjutnya apabila pecah tak dapat disambungkan lagi dengan pemanasan. Contohnya adalah bakelit.

d. Penggolongan Berdasarkan Kegunaan Polimer

1) Polimer untuk Makanan

Bermanfaat sebagai nutrisi yang diperlukan oleh tubuh. Contohnya adalah protein, karbohidrat, dan lemak.

2) Polimer untuk Kemasan Makanan dan Minuman

Contohnya adalah plastik PE (jenis LDPE), plastik PET (polietilen tereftalat), plastik PVC fleksibel (polivinil klorida), plastik PS, dan plastik nilon.

3) Polimer untuk Peralatan Elektronik, Mobil, dan Mainan Anak-anak

Contohnya adalah plastik PE (jenis HDPE), dan plastik PP untuk badan televisi, radio, piringan hitam, *compact disk*, dan ban kendaraan (Gambar 6.2).



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 6.2 *Ban kendaraan dibuat dari polimer (karet)*

4) Polimer untuk Bahan Bangunan

Plastik PVC banyak digunakan untuk paralon, lemari, meja, selang air, dan isolasi listrik.

5) Polimer untuk Peralatan Rumah Tangga

Polimer yang banyak dimanfaatkan, di antaranya adalah plastik PP untuk pembungkus, karung plastik, dan tali rafia. Teflon untuk pelapis setrika dan alat dapur bersifat tahan panas dan antilengket. Bakelit dan nilon untuk peralatan dapur.

3. Sifat Polimer

Sifat-sifat polimer ditentukan oleh empat hal, yaitu panjangnya rantai, gaya antarmolekul, percabangan, dan ikatan silang antarrantai polimer. Kekuatan dan titik leleh polimer naik dengan bertambah panjangnya rantai polimer. Bila gaya antarmolekul pada rantai polimer besar, maka polimer menjadi kuat dan sukar meleleh. Rantai polimer yang bercabang banyak, daya regangnya rendah dan lebih mudah meleleh. Ikatan silang antarrantai menyebabkan terjadinya jaringan yang kaku dan membentuk bahan yang keras. Makin banyak ikatan silang makin kaku, sehingga polimer mudah patah. Polimer yang mempunyai ikatan silang ini bersifat *termosetting*, sedangkan polimer-polimer yang tidak mempunyai ikatan silang bersifat *termoplastik*.

4. Kegunaan Polimer

Macam-macam kegunaan polimer, antara lain:

a. Plastik Polietilena/Polietena (PE)

Polimer ini dihasilkan melalui reaksi penggabungan (polimerisasi adisi) dari monomer etena. Polimer ini banyak digunakan untuk plastik pembungkus, ember, panci, pem-bungkus makanan, dan kantung plastik.

b. Plastik Polietilen Tereftalat (PET)

Polimer ini dihasilkan melalui reaksi polimerisasi adisi dari monomer etena. Polietilena bersifat lunak dalam air panas serta dapat digunakan untuk pembuatan film, tas plastik, dan jas hujan (Gambar 6.3).



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar 1*

Gambar 6.3 *Jas hujan merupakan suatu polimer yang antiair*

c. Plastik Politetrafluoroetena (Teflon)

Polimer ini dihasilkan melalui reaksi penggabungan (polimer adisi) dari monomer tetrafluroetena. Polimer ini banyak digunakan sebagai pelapis karena tahan terhadap panas, bahan kimia, dan permukaannya licin. Misalnya sebagai alat penggorengan yang tidak lengket dan tahan panas (Gambar 6.4).



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 6.4 *Teflon untuk alat penggorengan yang tidak lengket dan tahan panas*

d. Plastik Polistirena (PS)

Polimer ini dihasilkan melalui reaksi polimerisasi adisi dari monomer stirena. Polistirena bersifat rapuh dan kenyal serta dapat dapat digunakan untuk isolasi dan pembungkus.

e. Plastik Polipropilena/Polipropena (PP)

Polimer ini dihasilkan melalui reaksi penggabungan (polimerisasi adisi) dari monomer propena. Polimer ini banyak digunakan untuk botol plastik, karung plastik, dan tali plastik.

f. Plastik Polivinil Klorida (PVC)

Polimer ini dihasilkan melalui reaksi penggabungan (polimerisasi adisi) dari monomer vinilklorida. Polimer ini banyak digunakan untuk pipa dan karpet.

g. Dakron

Terbentuk melalui reaksi polimerisasi kondensasi dari monomer metiltereftalat dan glikol. Seperti nilon, dakron adalah serat sintetis yang dapat digunakan untuk bahan sandang.

h. Sutra

Serat ini diperoleh dari protein (fibroin) kepompong ulat sutra. Protein ini terdiri dari 70% asam amino molekul kecil (glisin, alanin, dan serin). Sutra adalah serat yang bermutu baik dan harganya mahal. Hal ini karena struktur polimer berjejalan rapat.



Sumber: *Jendela Iptek 7*

Gambar 6.5 *Pembuatan serat nilon*

i. Plastik Nilon

Polimer ini dihasilkan melalui reaksi kondensasi dari monomer asam adipat dan 1,6-diaminoheksana (Gambar 6.5). Nilon 6,6 adalah salah satu serat sintetis yang cukup kuat serta dapat digunakan untuk bahan sandang.

j. Karet Alam (Poliisoprena)

Polimer ini dihasilkan melalui reaksi penggabungan (polimerisasi adisi) dari monomer isoprena (Gambar 6.6). Polimer ini banyak sekali digunakan, antara lain untuk ban kendaraan, sepatu, dan sarung tangan.



Sumber: *Oxford Ensiklopedi Pelajar 4*

Gambar 6.6 *Lateks yang diambil dari pohon karet*

k. Karet Sintetis (Misal: SBR)

Terbentuk melalui reaksi polimerisasi adisi dari monomer stirena dan 1,3-butadiena. Karet sintetis mempunyai kekuatan mendekati karet alam serta dapat digunakan untuk ban mobil.

l. Bakelit

Polimer ini dihasilkan dari penggabungan (polimerisasi kondensasi) dari monomer metanol dan fenol. Polimer ini banyak digunakan untuk alat-alat listrik.

m. Poliakrilonitril

Serat ini terbentuk dari polimerisasi adisi. Dalam perdagangan, serat ini diberi merek dagang *orlon* dan digunakan sebagai wol sintetis dan karpet.

n. Wol

Wol adalah serat alami dari protein hewan (keratin) yang tidak larut. Sifat struktur protein wol adalah lentur, sehingga sangat baik untuk pakaian, namun bermasalah karena dapat mengerut saat pencucian. Untuk memperoleh wol yang bermutu baik dan tahan kerut maka wol dicampur dengan PET.



Sumber: *Oxford Ensiklopedi Pelajar 4*

Gambar 6.7 *Kapas merupakan selulosa murni sutra*

o. Kapas

Kapas adalah selulosa yang paling banyak digunakan. Kain katun dibuat dari serat kapas dengan perlakuan kimia sehingga menghasilkan kain yang kuat, enak dipakai, dan mudah perawatannya.

p. Rayon

Rayon merupakan serat sintesis dengan bahan dasar selulosa dari bubur kayu yang dibuat secara kimia. Rayon ini dibentuk menjadi lapisan-lapisan tipis dan digunakan sebagai selofan dan bahan pembungkus. Rayon juga dapat dipakai untuk bahan pakaian, namun jumlahnya masih terbatas.

5. Dampak Penggunaan Polimer

Polimer yang banyak digunakan untuk kehidupan sehari-hari antara lain adalah plastik. Plastik memang memberikan manfaat yang cukup besar, namun sebaliknya juga dapat menimbulkan masalah yang tidak kalah besar yaitu sulit diuraikan oleh mikroorganisme. Akibatnya sampah plastik menumpuk, saluran air tersumbat, dan bila musim hujan terjadilah banjir. Sampah plastik juga dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, sehingga tanah menjadi tidak subur.

Jika sampah plastik dibakar (terutama plastik jenis PVC) dapat membahayakan kesehatan. Untuk itu, solusi terbaik untuk menanggulangi sampah plastik dengan cara mendaur ulangnya. Hal ini cukup efektif dalam menekan pencemaran lingkungan.

Di negara maju, beberapa jenis plastik seperti PVC dan *styrofoam* dilarang untuk kemasan makanan atau minuman, karena jika senyawa monomernya terurai dapat membahayakan kesehatan (bersifat karsinogenik).

B. Karbohidrat



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 6.8 *Makanan yang mengandung karbohidrat*

Karbohidrat adalah polimer alami dengan rumus $C_n(H_2O)_n$ yang dihasilkan oleh tumbuhan dan digunakan sebagai sumber energi bagi makhluk hidup. Karbohidrat berasal dari kata *karbon* dan *hidrat* (air). Hal ini bukan berarti atom karbon yang mengikat arang, akan tetapi senyawa tersebut akan membebaskan air (hidrat) dan menyisakan karbon (arang) pada proses pemanasan.

Jika dilihat dari strukturnya, karbohidrat merupakan senyawa karbon yang mengandung gugus fungsi aldehid atau keton yang mengikat banyak gugus hidroksil, dengan kata lain karbohidrat merupakan *suatu senyawa polihidroksil dari keton atau aldehid.*

Karbohidrat dikenal juga dengan nama *sakarida.* Berasal dari bahasa Latin *saccharum* yang berarti gula. Berdasarkan sakarida yang dikandungnya, maka karbohidrat dapat digolongkan menjadi 3 yaitu monosakarida, oligosakarida, dan polisakarida.

1. Monosakarida

Monosakarida adalah karbohidrat yang paling sederhana, hanya terdiri dari satu sakarida dan tidak dapat dihidrolisis menjadi molekul-molekul karbohidrat lebih sederhana lagi, misalnya glukosa, fruktosa, ribosa, dan galaktosa.

a. Penggolongan Monosakarida

1) Penggolongan Berdasarkan Gugus Fungsional

Gugus fungsional karbohidrat adalah gugus karbonil dan sejumlah gugus hidroksil (polihidroksi). Penggolongan didasarkan pada letak gugus karbonil. Jika letak gugus karbonilnya di ujung, berarti gugus fungsionalnya aldehid. Jika letak gugus karbonilnya di tengah, berarti gugus fungsionalnya keton. Berdasarkan gugus fungsi yang dikandungnya, maka karbohidrat dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a) Aldosa, yaitu karbohidrat yang mengandung gugus fungsi aldehid.
b) Ketosa, yaitu karbohidrat yang mengandung gugus fungsi keton.

2) Penggolongan Berdasarkan Jumlah Atom C

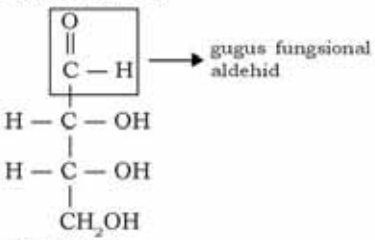
Monosakarida berdasarkan jumlah atom C yang dimiliki dapat digolongkan menjadi:

a) Triosa (memiliki tiga atom C)
b) Tetrosa (memiliki empat atom C)
c) Pentosa (memiliki lima atom C)
d) Heksosa (memiliki enam atom C)

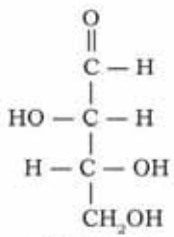
3) Penggolongan Berdasarkan Gugus Fungsional dan Jumlah Atom C

Beberapa golongan senyawa yang dapat digolongkan berdasarkan gugus fungsional dan jumlah atom C adalah sebagai berikut:

a) Golongan *aldotetrosa*
Karbohidrat ini memiliki gugus fungsional aldehid dan empat buah atom C.

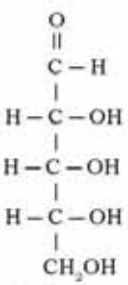


D-eritrosa

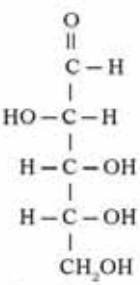


D-treosa

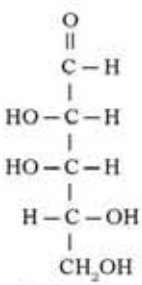
b) Golongan *aldopentosa*
Karbohidrat ini memiliki gugus fungsional aldehid dan lima buah atom C.



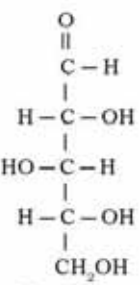
D-ribosa



D-arabinosa

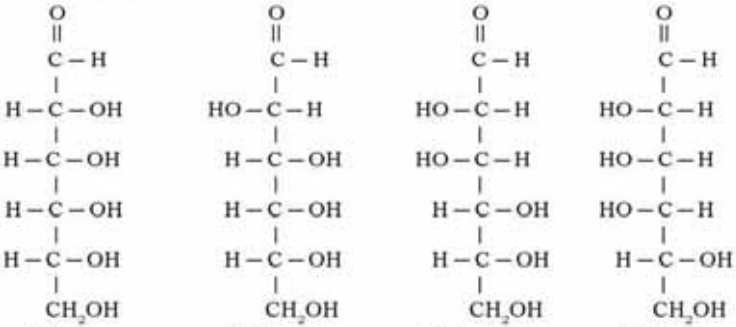


D-liksosa



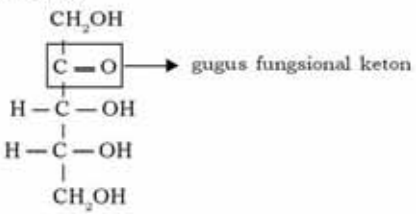
D-xilosa

c) Golongan *aldoheksosa*
Karbohidrat ini memiliki gugus fungsional aldehid dan enam buah atom C.



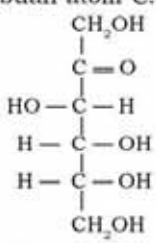
D-alosa D-altrosa D-manosa D-talosa

d) Golongan *ketopentosa*
Karbohidrat ini memiliki gugus fungsional keton dan lima buah atom C.



D-ribulosa

e) Golongan *ketoheksosa*
Karbohidrat ini memiliki gugus fungsional keton dan enam buah atom C.



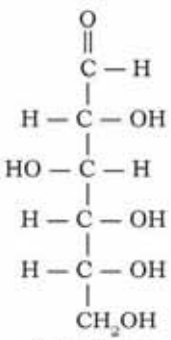
D-fruktosa

Struktur-struktur monosakarida tersebut merupakan rumus proyeksi yang dikemukakan oleh seorang kimiawan Jerman bernama **Emil Fischer** pada tahun 1891.

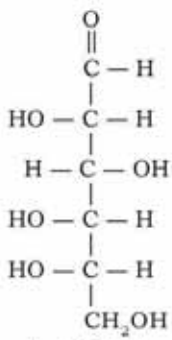
b. *Isomer Optis dari Monosakarida*

Isomer optis pada monosakarida disebabkan adanya atom C asimetris dalam molekulnya. Isomer optis monosakarida terjadi pada sakarida dengan rumus molekul yang sama, tetapi arah putar bidang cahaya terpolarisasinya berbeda. Ada yang memutar ke kiri dan ada yang memutar ke kanan. Molekul monosakarida yang memutar ke kiri diberi nama awalan **L** (*levo* = kiri) dan yang memutar ke kanan diberi nama awalan **D** (*dekstro* = kanan). Penetapan bentuk L dan D didasarkan pada posisi-posisi gugus OH pada atom C nomor 2, 3, 4, dan 5. Jika posisi OH lebih banyak mengarah ke kanan maka diberi awalan D, jika sebaliknya diberi awalan L.

Contoh: glukosa



D-glukosa

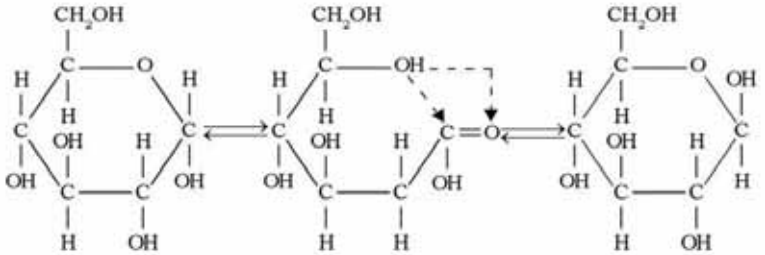


L-glukosa

c. *Struktur Cincin (Siklohemiasetal) Haworth*

Struktur melingkar atau hemiasetal ini dikemukakan oleh **Tollens.** Struktur ini digambarkan secara perspektif oleh **Haworth**. Penulisan kedua struktur tersebut mempunyai hubungan yaitu gugus OH yang mengarah ke kanan pada proyeksi Fischer menjadi ke bawah pada struktur Haworth, sedangkan gugus OH yang mengarah ke kiri pada proyeksi Fischer menjadi ke atas pada struktur Haworth. Gugus aldehid pada aldosa dan gugus keton pada ketosa akan menjadi atom C asimetris pada struktur melingkar (struktur Haworth). Selanjutnya, penamaan struktur melingkar dari monosakarida yang gugus OH-nya mengarah ke bawah diberi awalan alfa (α), sedangkan yang mengarah ke atas diberi awalan beta (β).

Contoh:



α-D-glukosa (bentuk siklik) | D-glukosa (bentuk rantai terbuka) | β-D-glukosa (bentuk siklik)

d. Monosakarida di Alam

1) Glukosa

Glukosa (gula anggur = gula darah) merupakan senyawa penting di alam, karena berperan penting dalam proses biologis. Glukosa merupakan molekul paling sederhana hasil hidrolisis dari semua karbohidrat dalam tubuh sebelum proses oksidasi. Glukosa terdapat dalam senyawa buah-buahan masak, terutama dalam anggur.

2) Fruktosa

Fruktosa (levulosa = gula buah) adalah ketosa yang sama seperti glukosa, merupakan makanan berenergi yang akhirnya dioksidasi menjadi karbon dioksida dan air dalam sel-sel tubuh. Menurut penelitian, enzim dan hormon yang mengendalikan oksidasi dapat berbeda dalam satu atau dua tahap dari keseluruhan proses oksidasi.

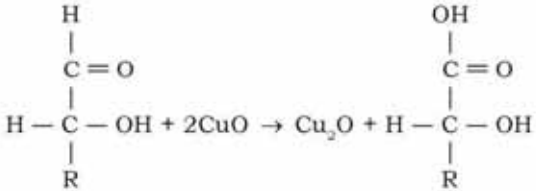
3) Galaktosa

Galaktosa merupakan monosakarida yang dihasilkan dari proses gula susu mamalia. Galaktosa di alam tidak ditemukan dalam keadaan bebas.

e. Sifat Pereduksi Monosakarida

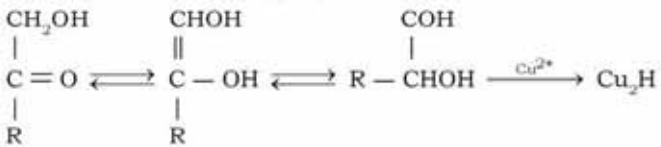
Semua monosakarida, baik aldosa (glukosa, galaktosa) maupun ketosa (fruktosa) dapat mereduksi larutan fehling atau tollens sehingga disebut *gula pereduksi*. Monosakarida dapat mereduksi larutan fehling yang ditandai dengan terbentuknya endapan merah bata dan dapat mereduksi larutan tollens yang ditunjukkan oleh terbentuknya cermin perak.

1) *Reaksi larutan tembaga(II) sulfat dan aldosa*



aldosa endapan merah bata

2) *Reaksi larutan tembaga(II) sulfat dan ketosa*



ketosa enadiol aldosa

2. Disakarida

Tiap molekul disakarida terdiri dari dua satuan monosakarida. Disakarida terbentuk dari hasil reaksi penggabungan dua satuan monosakarida dengan mengeluarkan (eliminasi) sebuah molekul air. Disakarida yang kita kenal adalah sukrosa, laktosa, dan maltosa.

a. Sukrosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

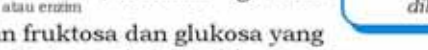
Sukrosa atau sakarosa disebut juga gula tebu karena berasal dari tebu. Gula ini lebih dikenal dengan sebutan gula pasir yang dikonsumsi sehari-hari (Gambar 6.9). Sukrosa terdapat dalam gula aren, gula kelapa, dan madu.



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 6.9 *Gula pasir yang dikonsumsi sehari-hari dibuat dari tebu*

Disakarida ini terdiri atas fruktosa dan glukosa. Hidrolisis sukrosa dengan bantuan asam atau enzim *invertase* akan menghasilkan glukosa dan fruktosa.



Campuran fruktosa dan glukosa yang sama banyak disebut *gula inversi,* karena campuran tersebut mampu mengubah perputaran cahaya terpolarisasi ke arah kiri. Larutan sukrosa memutar cahaya terpolarisasi ke kanan (+66,5°), akan tetapi

campuran hasil hidrolisis sukrosa mengalami pembalikan arah (inversi) putaran bidang cahaya terpolarisasi yaitu ke arah kiri. Fruktosa memutar cahaya terpolarisasi ke kiri (–92,4°) dan glukosa memutar cahaya terpolarisasi ke kanan (+52,7°). Gula inversi lebih manis daripada sukrosa.

Tabel 6.2 Perbandingan Tingkat Kemanisan Beberapa Jenis Gula

Nama Gula	Tingkat Kemanisan
Laktosa	16
Maltosa	33
Glukosa	74
Sukrosa	100
Gula inversi	130
Fruktosa	173

Gula inversi dibuat dengan menggunakan bahan baku yaitu jagung. Jagung ini dihidrolisis membentuk senyawa D-glukosa yang dikenal sebagai sirop jagung. Pembuatan gula inversi dari sirop jagung atau dekstrosa cair (glukosa cair) dilakukan dengan bantuan enzim *glukosa isomerase* yang diisolasi dari suatu jenis tanaman. Glukosa diubah menjadi fruktosa. Jika proses ini dibatasi sampai pada keadaan setimbang, akan diperoleh fruktosa sebanyak 50% dan diperoleh pula gula inversi. Proses ini dapat diteruskan sampai terbentuk fruktosa sebanyak 90%, namun biaya produksi yang diperlukan lebih tinggi.

D-glukosa $\xrightleftharpoons{\text{Glukosa isomerase}}$ D-fruktosa

50% 50%

b. Laktosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

Laktosa disebut juga gula susu karena terdapat dalam air susu. Air susu ibu (ASI) mengandung 5 – 8% laktosa, sedangkan susu sapi mengandung 4 – 6% laktosa. Laktosa merupakan serbuk tak berwarna dan sedikit larut dalam air. Hidrolisis laktosa dengan katalis enzim *laktase* akan menghasilkan satu satuan glukosa dan galaktosa dengan reaksi sebagai berikut:

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{\text{laktase}} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

laktosa glukosa galaktosa

Galaktosa yang terbentuk dalam tubuh segera diubah menjadi glukosa dengan enzim tertentu. Galaktosa dalam darah jika tidak diubah menjadi glukosa bisa menimbulkan kerdil, terbelakang, dan kematian. Laktosa merupakan gula pereduksi karena dapat mereduksi pereaksi fehling, benedict, atau pereaksi tollens.

c. *Maltosa* ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

Maltosa disebut juga gula gandum karena diperoleh dari hasil hidrolisis amilum (pati) dengan katalis *diastase* atau hasil hidrolisis glikogen dengan katalis *amilase*. Maltosa tidak terdapat bebas di alam. Hidrolisis maltosa akan menghasilkan 2 satuan glukosa dengan menggunakan katalis enzim maltase atau katalis asam seperti reaksi berikut.

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{\text{maltase}} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

maltosa glukosa glukosa

Maltosa merupakan gula pereduksi karena dapat mereduksi pereaksi fehling, benedict, atau pereaksi tollens.

3. Polisakarida

Polisakarida terdiri dari banyak satuan monosakarida. Jika satuan monosakarida tersebut merupakan gula pentosa, $C_5H_{10}O_5$, maka polisakarida tersebut dikelompokkan sebagai *pentosan* $(C_5H_8O_4)_n$. Pentosan terdapat dalam tongkol jagung, sekap gandum, dan jaringan kayu. Jika satuan monosakarida tersebut adalah satuan gula heksosa, $C_6H_{12}O_6$, maka polisakarida tersebut dikelompokkan sebagai *heksosan* $(C_6H_{10}O_5)_n$. Heksosan yang akan dibahas antara lain amilum (pati), glikogen, dan selulosa. Masing-masing dengan rumus $(C_6H_{10}O_5)_n$, dengan n dapat mencapai ribuan. Hidrolisis polisakarida akan menghasilkan sejumlah besar satuan monosakarida.

a. *Amilum*

Amilum adalah zat tepung yang merupakan gudang energi karbohidrat yang terdapat dalam tanaman dan terbentuk melalui proses fotosintesis dalam klorofil daun. Amilum merupakan polimer glukosa. Glukosa yang terikat sekitar 200 sampai 3000 unit.

Secara umum, amilum mengandung 20% amilosa dan 80% amilopektin yang masing-masing mengandung glukosa. Perbedaannya pada bentuk rantai dan jumlah monomer glukosa. Dalam kehidupan sehari-hari bisa kita lihat perbedaan sifat keduanya.

Tabel 6.3 Bentuk Rantai, Jumlah Monomer Glukosa dan Sifat Antara Amilosa dan Amilopektin

Jenis Amilum	Bentuk Rantai	Jumlah Monomer Glukosa	Sifat
Amilosa	Lurus membentuk gulungan spiral	1000 molekul D-glukosa	Larut dalam air
Amilopektin	Bercabang	2000 – 2500 molekul D-glukosa (rantai induk ada 100 unit dan rantai cabang ada 20 – 25 unit)	Tidak larut dalam air

Kalian pernah merebus jagung atau kentang bukan? Warna air rebusannya adalah putih. Namun kentangnya masih utuh. Air putih tersebut menunjukkan amilosa yang larut, sedangkan amilopektin tetap berada di dalam kentang.



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 6.10 *Air rebusan kentang yang putih menunjukkan amilosa yang larut*

Hidrolisis amilum dengan katalis enzim amilase atau enzim diastase akan menghasilkan sejumlah satuan maltosa. Selanjutnya maltosa akan dihidrolisis dengan katalis enzim *maltase* menghasilkan dua satuan glukosa seperti reaksi berikut:

$$\underset{\text{amilum}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + \tfrac{n}{2}\ H_2O \xrightarrow{\text{diastase}} \underset{\text{maltosa}}{\tfrac{n}{2}\ C_{12}H_{22}O_{11}}$$

$$\underset{\text{maltosa}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow{\text{maltase}} \underset{\text{glukosa}}{2\ C_6H_{12}O_6}$$

Jika amilum dihidrolisis dalam larutan asam (sebagai katalis akan menghasilkan berturut-turut dekstrosa, maltosa, dan glukosa dengan larutan penguji adalah larutan iodin (I_2).

Tabel 6.4 Hidrolisis Amilum dengan Larutan Iodin sebagai Larutan Penguji

Hidrolisis	Amilum	Dekstrosa	Maltosa	Glukosa
Diuji dengan larutan iodin (I_2)	Biru	Ungu	Merah	Tak berwarna

b. Glikogen

Glikogen adalah karbohidrat yang menjadi gudang energi pada sel manusia dan hewan yang disimpan dalam hati dan otot. Glikogen terbentuk dari hasil polimerisasi kelebihan glukosa dengan bantuan hormon insulin dan merupakan bentuk polisakarida bercabang dari D-glukosa. Di dalam air, glikogen bersifat koloid dan memberi warna cokelat merah dengan larutan iodin (I_2).

Dalam tubuh, glikogen dipecah untuk memelihara kadar gula darah dan memberi energi guna aktivitas otot. Hidrolisis glikogen dengan asam sebagai katalis, menghasilkan sejumlah satuan glukosa.

c. Selulosa

Selulosa adalah struktur polisakarida utama tanaman yang berbentuk serabut (serat), bersifat kenyal, dan tidak larut dalam air. Selulosa terdapat dalam sel pelindung tanaman (batang, dahan, dan daun), seperti pada jerami, bambu, dan pinus. Hidrolisis selulosa dengan katalis asam, misalnya H_2SO_4 akan menghasilkan sejumlah satuan glukosa.

Kerjakan tugas berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan,** mengembangkan **kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 6.1

1. Apa yang dimaksud dengan aldosa dan ketosa? Berikan masing-masing contohnya!
2. Apakah yang dimaksud dengan gula inversi dan apa kelebihan dari gula tersebut dibanding gula yang lain?
3. Sebutkan tiga macam disakarida yang ada di alam!
4. Tentukan monosakarida yang merupakan hasil hidrolisis maltosa dan laktosa!
5. Apa perbedaan amilum dan selulosa?

Kegiatan 6.1

Uji Karbohidrat

Tujuan:

1. Mengetahui apakah dalam larutan mengandung karbohidrat.
2. Mengidentifikasi jenis karbohidrat.

Alat:

1. Ttabung reaksi
2. Rak tabung reaksi
3. Penjepit tabung reaksi
4. Pipet ukur
5. Gelas ukur penangas air

Bahan:

1. Pati
2. Sukrosa (gula pasir)
3. Glukosa
4. Putih telur
5. Minyak kelapa
6. Pereaksi Molish
7. Pereaksi Benedict
8. Pereaksi iodin

Cara Kerja:

1. **Uji ada atau tidaknya karbohidrat**
   a. Masukkan dua tetes larutan pati ke dalam tabung reaksi.
   b. Tambahkan 5 tetes α-naftol dan alkohol (pereaksi Molish) ke dalam tabung reaksi tersebut.
   c. Tambahkan dengan hati-hati (alirkan melalui dinding tabung) 2 mL asam sulfat pekat.
   d. Amati apakah terdapat cincin ungu dalam dinding tabung, jika terdapat cincin ungu berarti mengandung karbohidrat.
   e. Lakukan langkah a sampai e dengan cuplikan yang berbeda
2. **Uji beda pati, sukrosa, dan glukosa**
   a. Masukan 5-8 tetes larutan pati ke dalam tabung reaksi.
   b. Tambahkan 5 mL pereaksi Benedict ke dalam tabung reaksi tersebut.
   c. Didihkan larutan dalam penangas air selama 3 menit.
   d. Setelah dingin amati perubahan yang terjadi.
   e. Lakukan langkah a sampai d dengan karbohidrat yang lain (sukrosa dan glukosa).
3. **Uji beda pati dengan sukrosa**
   a. Masukkan 2 mL larutan pati.
   b. Tambahkan pereaksi iodin ke dalam larutan tersebut.
   c. Amati apakah terjadi perubahan warna.
   d. Lakukan langkah yang sama dengan cuplikan sukrosa.

Hasil Pengamatan:
Uji ada atau tidaknya karbohidrat

No.	Cuplikan	Terbentuk Endapan	
		Ya	Tidak
1.	Larutan pati	.....	.....
2.	Larutan sukrosa	.....	.....
3.	Larutan glukosa	.....	.....
4.	Larutan putih telur	.....	.....
5.	Minyak kelapa	.....	.....

Uji beda pati, sukrosa, dan glukosa

No.	Cuplikan	Warna Larutan
1.	Larutan pati	.....
2.	Larutan sukrosa	.....
3.	Larutan glukosa	.....

Uji beda pati, sukrosa, dan glukosa

No.	Cuplikan	Warna Larutan
1.	Larutan pati	.....
2.	Larutan sukrosa	.....

Pertanyaan:

1. Apakah fungsi larutan pereaksi berikut?
   a. Molish
   b. Benedict
   c. Iodin
2. Dari beberapa larutan cuplikan percobaan manakah yang termasuk karbohidrat? Jelaskan jawaban kalian!
3. Diskusikan hasil pengamatan kalian dan buatlah suatu kesimpulan bagaimana cara mengidentifikasi suatu larutan mengandung karbohidrat!

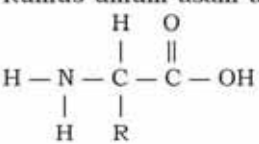
Keterangan:
Pereaksi Molish merupakan pereaksi pengidentifikasi zat yang mengandung karbohidrat. Adanya karbohidrat ditunjukkan dengan terbentuknya endapan yang berwarna merah muda. Pereaksi Benedict positif untuk karbohidrat jenis monosakarida (glukosa, fruktosa, galaktosa, pentosa), laktosa, dan maltosa. Pereaksi benedict negatif dalam pati dan sukrosa. Pereaksi iodin positif terhadap pati dan negatif terhadap sukrosa.

C. Protein

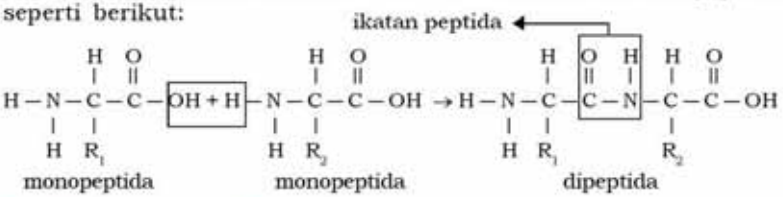
Tahukah kalian zat apa yang terkandung dalam putih telur? Zat tersebut adalah protein.

1. Struktur dan Tata Nama Protein

Protein merupakan senyawa makromolekul yang terbentuk dari hasil polimerisasi kondensasi berbagai asam amino. **Asam amino** adalah turunan asam karboksilat yang mengandung gugus amina. Seperti halnya polisakarida, protein juga merupakan polimer. Monomer protein adalah asam α-amino.
Rumus umum asam amino yaitu:



Protein yang terbentuk dari dua molekul asam amino disebut *dipeptida*, dari tiga molekul asam amino disebut *tripeptida*, sedangkan lebih dari tiga asam amino disebut *polipeptida*. Contoh reaksi kondensasi dua molekul asam amino membentuk dipeptida seperti berikut:



2. Penggolongan Protein

Protein dapat digolongkan berdasarkan bentuk, fungsi, asal, dan jenis monomernya.

a. Berdasarkan Bentuknya

1) Protein Serat

Berupa susunan rantai polipeptida dalam suatu lembaran yang panjang. Berfungsi untuk pertahanan luar, contohnya pada lapisan kulit luar, rambut, bulu, kuku, dan tanduk. Fungsi yang lain adalah untuk penyangga kekuatan dan pemberi bentuk, contohnya pada tulang, urat, dan lapisan kulit sebelah dalam.

2) Protein Globular

Berupa rantai polipeptida yang berlipat dengan rapat, sehingga menjadi bentuk bulat atau globular yang kompak. Contohnya adalah enzim, protein, dalam darah, antibodi, hormon, komponen membran, dan ribosom.

b. Berdasarkan Fungsinya

Berdasarkan fungsinya, protein dapat dikelompokkan menjadi enzim, protein transport, protein nutrisi dan penyimpan makanan, protein kontraktil (motil), protein struktural, protein pertahanan, dan protein pengatur.

c. Berdasarkan Asalnya

Berdasarkan asalnya, protein dikelompokkan menjadi dua, yaitu protein hewani (berasal dari hewan) dan protein nabati (berasal dari tumbuh-tumbuhan).

d. Berdasarkan Jenis Monomernya

Berdasarkan jenis monomernya, protein dikelompokkan menjadi dua, yaitu protein sederhana dan proten konjugasi. Protein sederhana antara lain albumin, globulin, glutelin, prolamin, skleroprotein, histon, dan protamin. Protein konjugasi antara lain fosfoprotein, lipoprotein, nukleoprotein, glikoprotein, dan kromoprotein.

3. Sifat Protein

Protein memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

a. Sukar larut dalam air karena memiliki ukuran molekul yang sangat besar.
b. Mengalami koagulasi oleh pemanasan, penambahan asam, atau penambahan basa.
c. Bersifat amfoter karena dapat membentuk *zwitterions*. Pada titik isoelektriknya, protein mengalami koagulasi sehingga dapat dipisahkan dari pelarutnya.
d. Dapat mengalami kerusakan (terdenaturasi) oleh pemanasan. Pada denaturasi protein, kerusakan dimulai dari kerusakan struktur tersiernya sampai kerusakan struktur primernya.

4. Kegunaan Protein

Protein sangat berguna dalam membantu proses metabolisme tubuh, terutama dalam pembentukan sel-sel baru untuk menggantikan sel-sel yang rusak. Selain itu protein juga berguna sebagai:

a. Cadangan energi, contohnya kasein pada susu untuk cadangan makanan bagi bayi/individu yang baru lahir.
b. Zat pembangun jaringan, contohnya elastin merupakan protein utama yang menyusun jaringan ligamen, kolagen merupakan protein utama yang menyusun jaringan ikat pada kulit.
c. Katalisator reaksi biokimia (enzim) berupa apoenzim yang merupakan penyusun utama enzim.
d. Zat antibodi, contohnya adalah protein mieloma.
e. Alat angkut, contohnya sel-sel darah merah yang mengangkut oksigen dan karbon dioksida.
f. Pengatur reaksi, contohnya insulin yang berperan dalam mengubah glukosa menjadi glikogen.
g. Pengendali pertumbuhan.

5. Uji Protein

Uji protein ada yang yang bersifat kualitatif (identifikasi) dan kuantitatif (pengukuran konsentrasi). Ada juga yang bersifat spesifik (hanya berlaku untuk asam amino tertentu) dan tidak spesifik (untuk banyak jenis asam amino).

a. Uji Biuret

Uji ini memberikan hasil positif, yaitu terbentuk warna ungu pada senyawa-senyawa yang memiliki ikatan peptida. Uji ini sering digunakan untuk menunjukkan adanya senyawa protein. Caranya dengan meneteskan NaOH pada protein, kemudian ditambahkan beberapa tetes $CuSO_4$ encer.

b. Uji Xantoprotein

Uji ini memberikan hasil positif terhadap protein dengan asam amino yang mengandung cincin benzena, seperti fenilalanin, tiroksin, dan triptofan. Caranya dengan meneteskan asam nitrat pekat pada protein. Hasil positif akan ditunjukkan dengan terbentuknya endapan putih sebagai akibat proses nitrasi terhadap cincin benzena. Jika endapan tersebut dipanaskan akan berubah menjadi kuning.

c. Uji Millon

Uji protein dengan pereaksi ini memberikan hasil positif terhadap protein dengan asam amino yang mengandung gugus fenol,

misalnya tiroksin. Cara uji ini dengan menambahkan pereaksi millon pada protein. Pereaksi millon terdiri atas larutan merkuro nitrat dan merkuri nitrat dalam asam nitrat. Hasil positif ini ditunjukkan dengan timbulnya endapan putih. Jika endapan putih ini dipanaskan akan berubah menjadi merah. Uji ini tidak digunakan untuk menganalisis urine karena adanya ion NH_4^+ dapat mengganggu analisis.

d. Uji Belerang

Uji ini memberikan hasil positif terhadap protein dengan asam amino yang mengandung gugus belerang, seperti sistein, sistin, dan metionin. Caranya dengan memanaskan larutan protein dan larutan NaOH pekat, kemudian menambahkan larutan timbal asetat. Hasil positif ini ditunjukkan dengan timbulnya endapan hitam timbal sulfida (PbS).

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan, etos kerja,** dan kalian dapat **berpikir kritis!**

Kegiatan 6.2

Uji Biuret

Tujuan:

Mengidentifikasikan protein dalam makanan dengan uji biuret.

Alat:

1. Vortex-mixer
2. Tabung reaksi
3. Pipet tetes

Bahan:

1. Larutan putih telur (albumin)
2. NaOH 2 M
3. $CuSO_4$ 0,1 M

Cara Kerja:

1. Masukkan 2 mL larutan protein ke dalam tabung.
2. Tambahkan 1 mL NaOH 2 M ke dalam tabung tersebut, dan aduk sampai rata.
3. Tambahkan setetes $CuSO_4$ 0,01 M (jangan berlebihan) ke dalam tabung kemudian aduk lagi. Amati warnanya.

4. Jika timbul warna violet, tambahkan setetes sampai dua tetes $CuSO_4$ 0,01 M.

Hasil Pengamatan:

Uji Biuret	
Jumlah Tetesan $CuSO_4$ 0,01 M	**Perubahan Warna**
1 tetes	.....
2 tetes	.....
3 tetes	.....
4 tetes	.....
dan seterusnya	.....

Pertanyaan:

1. Apa yang terjadi setelah penambahan NaOH? Jelaskan!
2. Mengapa harus dihindarkan kelebihan $CuSO_4$ 0,01 M?
3. Mengapa lebih baik digunakan putih telur daripada kuning telur dalam percobaan ini? Jelaskan!
4. Apa yang dapat disimpulkan dari hasil percobaan tersebut?

Lakukan kegiatan berikut untuk menumbuhkan **keingintahuan, etos kerja,** dan kalian dapat **berpikir kritis!**

Kegiatan 6.3

Uji Xantoprotein

Tujuan:

Mengidentifikasi protein dalam makanan dengan uji xantoprotein.

Alat:

1. Tabung reaksi
2. Pipet tetes
3. Gelas ukur
4. Lampu spiritus
5. Penjepit tabung reaksi

Bahan:

1. Larutan putih telur (albumin)
2. Larutan HNO_3 2 M
3. Larutan NaOH 2 M

Cara Kerja:

1. Masukkan 2 mL larutan putih telur ke dalam tabung.
2. Tambahkan 2 mL larutan HNO_3 2 M, kocok hingga bercampur.
3. Amati perubahannya!
4. Panaskan dengan nyala api kecil, kemudian dinginkan. Setelah dingin, tambahkan 5 mL larutan NaOH 2 M. Amati perubahan yang terjadi?

Hasil Pengamatan:

Reaksi	Pengamatan
Albumin + HNO_3 2 M (sebelum dipanaskan)	.....
Albumin + HNO_3 2 M (setelah dipanaskan)	.....
Albumin + HNO_3 + NaOH	.....

Pertanyaan:

1. Apa yang terjadi setelah albumin ditambah dengan asam nitrat sebelum dan sesudah pemanasan?
2. Apa pengaruh pemanasan dalam percobaan ini?
3. Apa fungsi NaOH dalam percobaan?
4. Apa yang dapat disimpulkan dari hasil percobaan tersebut?

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas 6.2

1. Apa yang dimaksud dengan asam amino dan bagaimana strukturnya?
2. Sebutkan penggolongan protein berdasarkan bentuk, fungsi, asal, dan jenis monomernya!
3. Bagaimana sifat protein?
4. Sebutkan jenis protein yang digunakan untuk:
   a. cadangan makanan bayi pada susu,
   b. mengubah glukosa menjadi glikogen,
   c. zat antibodi!

D. Lemak dan Minyak

Lemak dan minyak merupakan bagian dari lipid. Lipid dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar, yaitu:

1. lipid terhidrolisis
2. lipid tidak terhidrolisis.

Lipid terhidrolisis merupakan ester dari gliserol yang mengandung suatu asam lemak, asam fosfat, etanolamina, ataupun serina. Lipid yang tidak terhidrolisis terdiri dari steroid dan terpena.

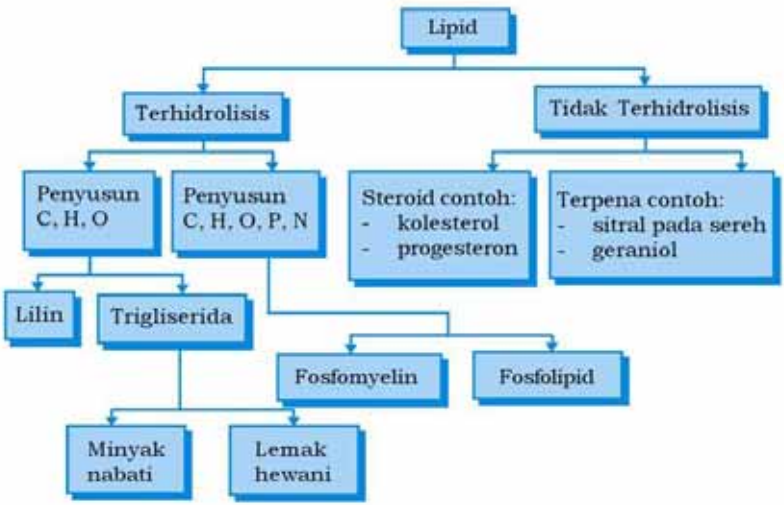
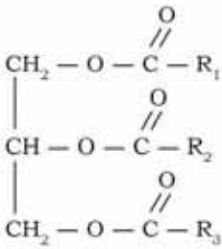


Diagram yang menunjukkan penggolongan lipid secara umum adalah sebagai berikut:

1. Struktur dan Tata Nama Lemak

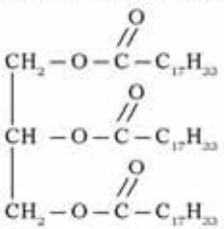
Lemak atau minyak merupakan ester dari asam lemak dan gliserol. Struktur lemak memiliki gugus alkil (R_1, R_2, R_3) yang merupakan gugus nonpolar dengan jumlah atom karbon antara 11 sampai 23. Adapun struktur umum dari lemak adalah sebagai berikut:



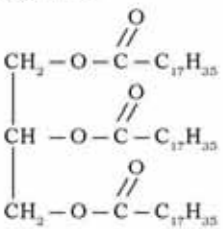
R_1, R_2, dan R_3 adalah rantai hidrokarbon dengan jumlah atom karbon dari 3 hingga 23, tetapi yang paling umum dijumpai adalah 15 atau 17.

Lemak yang terbentuk dari sejenis asam karboksilat ($R_1 = R_2 = R_3$) disebut *lemak sederhana*. Jika terbentuk dari dua atau tiga jenis asam karboksilat disebut *lemak campuran*. Umumnya lemak terbentuk dari dua atau lebih asam karboksilat.

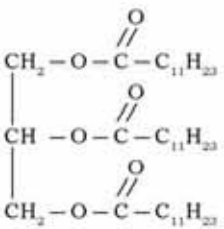
Penamaan lemak dimulai dengan kata gliseril yang diikuti oleh nama asam lemaknya. Contoh:



Gliseril trioleat (triolein) (gliserida sederhana, minyak)



Gliseril tristearat (tristearin) (gliserida sederhana, lemak)



Gliseril lauropalmitostearat (gliserida campuran, lemak)

2. Perbedaan Lemak dan Minyak

Wujud lemak atau minyak sebenarnya bergantung pada asam lemak penyusunnya. Lemak berbentuk padat dan umumnya berasal dari hewan (gajih), kecuali lemak coklat. Lemak berwujud padat karena banyak mengandung asam lemak jenuh. Adapun minyak berbentuk cair pada suhu ruangan dan umumnya berasal dari tumbuhan, seperti minyak kelapa, minyak kedelai, dan minyak jagung. Minyak berwujud cair karena banyak mengandung asam lemak tak jenuh.

Penggolongan lemak berdasarkan kejenuhan ikatan ada 2 macam, yaitu:

a. *Asam Lemak Jenuh*

Merupakan asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap.

Tabel 6.5 Beberapa Asam Lemak Jenuh

Jumlah Atom C pada Gugus Alkil	Struktur	Nama
11	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	Asam laurat
13	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	Asam miristat
15	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	Asam palmitat
17	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	Asam stearat
23	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$	Asam lignoserat

b. *Asam Lemak Tak Jenuh*

Merupakan asam lemak yang memiliki ikatan rangkap. Asam lemak ini dibagi menjadi 2 lagi, yaitu asam lemak tak jenuh tunggal dan asam lemak tak jenuh ganda. Asam lemak tak jenuh tunggal disebut *omega-9* karena ikatan rangkapnya terletak pada karbon nomor 9, contohnya asam oleat. Asam lemak tak jenuh ganda disebut juga *omega-3* dan *omega-6* karena ikatan rangkapnya terletak pada atom ketiga dan keenam.

Tabel 6.6 Beberapa Asam Lemak Tak Jenuh

Struktur	Nama
$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	Asam oleat
$CH_3(CH_2)_4CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	Asam linoleat
$CH_3CH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	Asam linolenat
$CH_3(CH_2)_4(CH{=}CHCH_2)_2COOH$	Asam arakidonat

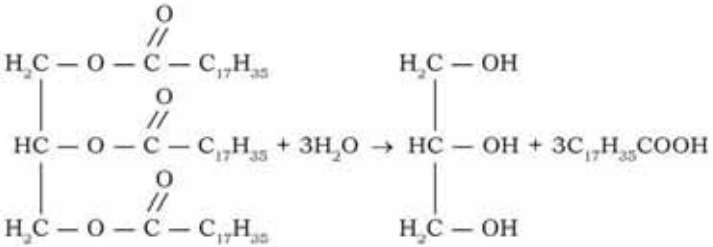
Lemak dan minyak bersifat nonpolar atau mudah larut dalam pelarut organik/pelarut nonpolar (seperti kloroform dan eter) dan sukar larut dalam pelarut polar (seperti air).

3. Reaksi-reaksi Lemak dan Minyak

Lemak dan minyak mengalami reaksi hidrolisis, penyabunan, dan hidrogenasi.

a. *Hidrolisis*

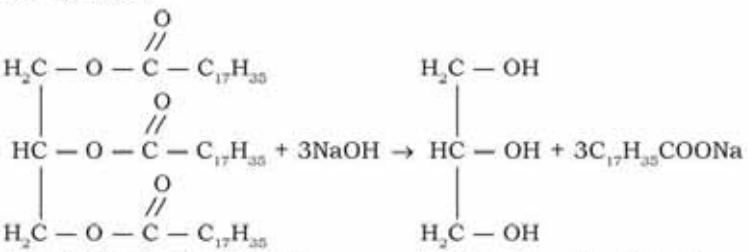
Reaksi hidrolisis terjadi pada lemak atau minyak karena pengaruh dari asam kuat atau enzim *lipase* dengan membentuk gliserol atau asam lemak. Contoh reaksi hidrolisis adalah sebagai berikut:



gliseril tristearat gliserol asam stearat

b. *Penyabunan*

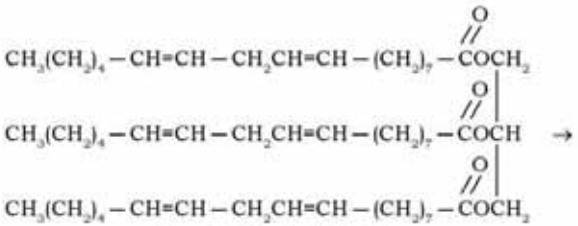
Lemak atau minyak jika bereaksi dengan suatu basa kuat seperti NaOH atau KOH akan menghasilkan sabun. Reaksinya disebut reaksi penyabunan (saponifikasi). Jika menggunakan NaOH, maka sabun yang dihasilkan keras dan dapat dibentuk sesuai kehendak kita. Akan tetapi, jika menggunakan KOH, maka sabun yang dihasilkan lebih lunak atau sabun cair. Hasil sampingnya adalah gliserol.



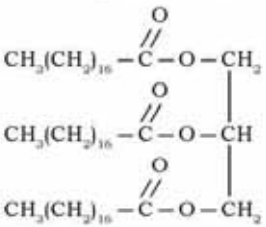
gliseril tristearat (lemak) gliserol Na-stearat (sabun)

c. *Hidrogenasi Minyak*

Titik leleh minyak relatif rendah karena mengandung asam tak jenuh. Asam lemak tak jenuh memiliki ikatan rangkap. Jika ingin memadatkan minyak, maka cara yang perlu dilakukan adalah dengan menjenuhkan ikatan rangkapnya atau memutuskan ikatan rangkapnya. Caranya dengan menggunakan reaksi hidrogenasi. Reaksi ini dilakukan dalam pembuatan margarin dari minyak sawit.



gliseril trilinoleat (cair)



gliseril tristearat (padat)

4. Fungsi dan Sumber Lemak

Lemak digunakan sebagai cadangan makanan atau sumber energi yang disimpan pada jaringan adipose dalam tubuh. Hal ini karena lemak kaya energi. Pembakaran 1 gram lemak jenuh menghasilkan sekitar 9 kilo kalori. Seseorang yang banyak mengonsumsi asam lemak jenuh berpeluang menderita penyakit jantung dan pembuluh darah. Jadi, lebih baik mengonsumsi lemak yang mengandung asam lemak tak jenuh daripada asam lemak jenuh.

Minyak digunakan untuk mengolah makanan (misal, mengoreng). Di dalam industri, minyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan margarin. Minyak dan lemak juga digunakan sebagai bahan dasar pembuatan sabun dan gliserol. Gliserol adalah hasil samping dari pembuatan sabun yang diperoleh dengan cara mereaksikan minyak atau lemak dengan suatu basa kuat (NaOH dan KOH).

Kerjakan tugas berikut untuk mengembangkan **wawasan kontesktual, kecakapan personal,** dan **akademik** kalian!

Tugas 6.3

1. Bagaimana struktur dan tata nama lemak?
2. Jelaskan perbedaan lemak dan minyak!
3. Apa yang dimaksud dengan asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh?
4. Jelaskan cara pemadatan minyak pada pembuatan margarin!
5. Apa fungsi dari lemak dan minyak?

Serba-serbi Kimia

Indonesia mempunyai total luas areal perkebunan kelapa terbesar di dunia. Namun, masalahnya produk yang dihasilkan masih terbatas produk primer seperti kelapa sayur dan minyak makan sehingga tidak kompetitif. Untuk itu diperlukan pengolahan lebih lanjut untuk memberikan nilai tambah komoditas ini. Misalnya untuk emulgator, sabun mandi, kosmetik, *nata de coco*, arang tempurung, arang aktif, dan lain-lain. Produk lainnya yang dapat dikembangkan dari industi kelapa adalah minyak kelapa murni yang diperoleh lewat pemanasan minimal dan tanpa proses permurnian kimiawi yang bermanfaat untuk perawatan tubuh, meningkatkan metabolisme, dan menanggulangi berbagai penyakit. Minyak ini memiliki kandungan asam laurat yang sangat tinggi (45 – 55%). Asam laurat merupakan asam lemak jenuh dengan rantai sedang (jumlah karbonnya 12). Oleh karena itu, sudah saatnya kita memanfaatkan kekayaan kelapa yang kita miliki untuk menghasilkan produk-produk olahan lain yang memiliki nilai tambah, sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Kembangkanlah wawasan produktivitas dan ke-Indonesiaan kalian!

Kegiatan 6.4

Uji Kejenuhan Lemak

Tujuan:

Mengetahui kejenuhan beberapa jenis lemak.

Alat:

1. Tabung reaksi
2. Pipet tetes
3. Beker glass
4. Rak tabung reaksi

Bahan:

1. Kloroform
2. Etanol
3. Larutan brom dalam kloroform (1 mL Br_2 dilarutkan di dalam 20 mL kloroform)
4. Minyak kelapa
5. Minyak jagung
6. Mentega
7. Gajih/gemuk
8. Buah alpukat

Cara Kerja:

1. Masukkan 1 tetes minyak kelapa ke dalam tabung.
2. Masukkan pula 1 tetes minyak jagung ke dalam tabung yang berbeda.
3. Masukkan sedikit mentega, gajih, dan alpukat dalam 3 buah tabung reaksi yang lain.
4. Tambahkan 1 mL kloroform atau etanol ke dalam masing-masing tabung reaksi.
5. Pada tabung keenam, masukkan 1 mL kloroform sebagai blanko (larutan standar).
6. Teteskan larutan brom (Br_2) ke dalam semua tabung sampai terlihat warna kuning dengan intensitas yang relatif sama.
7. Catat jumlah tetes yang diperlukan.

Hasil Pengamatan:

No.	Lemak/Minyak	Jumlah Tetes
1.	Minyak kelapa	.....
2.	Minyak jagung	.....
3.	Mentega	.....
4.	Gajih	.....
5.	Alpukat	.....

Pertanyaan:

1. Apa fungsi kloroform atau etanol dalam percobaan tersebut?
2. Bagaimana hubungan antara jumlah tetesan dengan kejenuhan lemak?

Rangkuman

1. Polimer adalah senyawa yang besar dan terbentuk dari hasil penggabungan sejumlah unit-unit molekul yang kecil. Pembentukan polimer melalui polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi.
2. Karbohidrat adalah polimer alami dengan rumus $C_n(H_2O)_n$ yang dihasilkan oleh tumbuhan dan digunakan sebagai sumber energi bagi makhluk hidup. Senyawa tersebut akan membebaskan air (hidrat) dan menyisakan karbon (arang) pada proses pemanasan.
3. Penggolongan karbohidrat (sakarida) ada tiga, yaitu monosakarida, oligosakarida, dan polisakarida.
4. Protein merupakan senyawa makromolekul yang terbentuk dari hasil polimerisasi berbagai asam amino.
5. Sifat protein adalah sukar larut dalam air, koagulasi oleh pemanasan, penambahan asam, atau penambahan basa, bersifat amfoter, terdenaturasi oleh pemanasan.
6. Uji protein ada 4 macam, yaitu uji biuret, uji xantoprotein, uji millon, dan uji belerang.
7. Perbedaan lemak dan minyak bergantung pada asam lemak penyusunnya. Lemak berbentuk padat karena banyak mengandung asam lemak jenuh, sedangkan minyak berbentuk cair pada suhu ruangan karena banyak mengandung asam lemak tak jenuh.
8. Reaksi-reaksi lemak dan minyak adalah reaksi hidrolisis, reaksi penyabunan, dan reaksi hidrogenasi minyak.

Uji Kompetensi

Kerjakan di buku tugas kalian!

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

1. Polimer yang dibuat melalui polimerisasi kondensasi adalah . . . .
   A. HDPE
   B. polipropilena
   C. poliisoprena
   D. PET
   E. teflon

2. Senyawa yang termasuk polimer alam adalah . . . .
   A. bakelit
   B. poliisoprena
   C. polistirena
   D. teflon
   E. PET

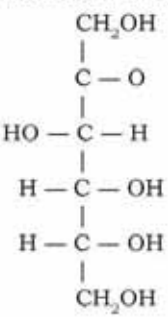
3. Polimer yang bersifat termosetting adalah . . . .
   A. PVC
   B. PET
   C. bakelit
   D. PE
   E. PP

4. Karbohidrat yang termasuk disakarida adalah . . . .
   A. amilum dan sukrosa
   B. galaktosa dan maltosa
   C. sukrosa dan laktosa
   D. selulosa dan maltosa
   E. glukosa dan sukrosa

5. Zat yang menimbulkan warna biru jika direaksikan dengan larutan iodin adalah . . . .
   A. amilum
   B. galaktosa
   C. selulosa
   D. glukosa
   E. sukrosa

6. Ikatan peptida antarmolekul asam amino terjadi antara gugus . . . .
   A. karboksilat dengan alkil
   B. karboksilat dengan amina
   C. amina dengan alkil
   D. alkil dengan alkil
   E. amina dengan amina

7. Berikut ini merupakan struktur monosakarida . . . .



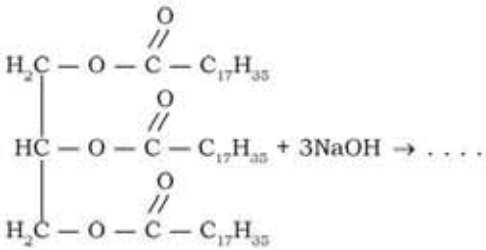
   A. D-glukosa
   B. D-fruktosa
   C. L-glukosa
   D. D-galaktosa
   E. L-fruktosa

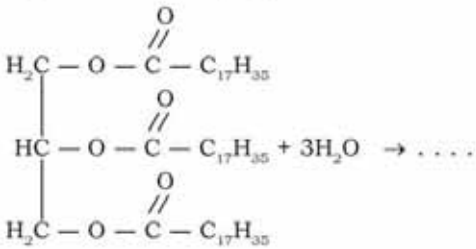
8. Protein yang berfungsi sebagai alat pengangkut di dalam tubuh makhluk hidup adalah . . . .
   A. insulin
   B. sel darah merah
   C. kasein
   D. apoenzim
   E. kolagen
9. Berikut ini merupakan struktur asam lemak jenuh.
   $CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$
   Nama asam lemak tak jenuh tersebut adalah . . . .
   A. asam laurat
   B. asam oleat
   C. asam linoleat
   D. asam linolenat
   E. asam arakidonat
10. Lipid yang berfungsi sebagai sumber energi adalah . . . .
   A. lemak
   B. fosfolipid
   C. steroid
   D. lemak dan fosfolipid
   E. fosfolipid dan steroid

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

1. Jelaskan masalah yang bisa timbul dari penggunaan plastik!
2. Apakah perbedaan antara polimerisasi kondensasi dan polimerisasi adisi?
3. Jelaskan perbedaan antara:
   a. Potein serabut dan protein globular!
   b. Potein sederhana dan protein terkonjugasi!
4. Tentukan jenis monosakarida berikut, tergolong aldosa atau ketosa!
   a. Arabinosa
   b. Ribosa
   c. Fruktosa
   d. Glukosa
   e. Galaktosa
   f. Eritrosa

5. Lengkapilah reaksi lemak berikut dan tentukan jenis reaksinya!

a. 

b. 

Latihan Semester II

Kerjakan di buku tugas kalian!

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

1. Di antara senyawa berikut yang tergolong eter adalah . . . .
   A. $CH_3 - CH_2 - CO - CH_3$
   B. $CH_3 - O - CH_2 - CH_3$
   C. $CH_3 - CH_2 - CHO$
   D. $CH_3 - CH_2 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}} - C_2H_5$
   E. $CH_3 - CH_2 - COO - CH_3$
2. Jumlah isomer dari senyawa C_5H_8 adalah . . . .
   A. 5 D. 8
   B. 6 E. 9
   C. 7
3. Pasangan senyawa karbon berikut yang keduanya merupakan isomer fungsi adalah . . . .
   A. propanon dengan dimetil eter
   B. 2-propanol dengan dimetil keton
   C. metoksi metana dengan metanol
   D. 2-metil propanol dengan 2-butanol
   E. asam etanoat dengan metil metanoat
4. Senyawa yang memperlihatkan gejala optis mempunyai . . . .
   A. ikatan rangkap
   B. ikatan rangkap tiga
   C. semua ikatan adalah tunggal
   D. atom karbon asimetris
   E. satu gugus –OH
5. Senyawa berikut yang mempunyai keisomeran optis adalah . . . .
   A. butil alkohol
   B. isobutil alkohol
   C. sekunder butil alkohol
   D. isopropil alkohol
   E. *ters*-butil alkohol

6. Pada adisi hidrogen ke dalam benzena dihasilkan . . . .
   A. hidrobenzena
   B. heksana
   C. heksena
   D. 1,2,5-heksatriena
   E. sikloheksana
7. Senyawa benzena yang dikenal sebagai obat aspirin merupakan ester dari . . . .
   A. mineral dengan asam lemak
   B. asam salisilat dengan asam asetat
   C. asam benzoat dengan asam asetat
   D. asam sulfat dengan asam benzoat
   E. asam salisilat dengan asam benzoat
8. Benzena yang direaksikan dengan campuran asam sulfat pekat dan asam nitrat pekat menghasilkan . . . .
   A. halobenzena
   B. alkil benzena
   C. nitrobenzena
   D. sulfobenzena
   E. anilin
9. Senyawa yang merupakan salah satu polimer jenis kopolimer sintetik adalah . . . .
   A. karet buatan
   B. amilum
   C. polistirena
   D. nilon 66
   E. protein
10. Polimer untuk membuat jas hujan, botol plastik, tas sekolah berturut-turut adalah . . . .
    A. PET, LDPE, nilon
    B. poliisoprena, PVC, PET
    C. PET, polipropilena, nilon
    D. nilon, PVC, nilon
    E. HDPE, LDPE, nilon
11. Senyawa berikut yang termasuk monosakarida adalah . . . .
    A. glukosa dan maltosa
    B. glukosa dan laktosa
    C. maltosa dan galaktosa
    D. glukosa dan galaktosa
    E. laktosa dan galaktosa
12. Bahan-bahan berikut yang mengandung selulosa adalah . . . .
    A. jerami dan bambu
    B. bambu dan kentang
    C. pinus dan ubi jalar
    D. jerami dan anggur
    E. gandum dan bambu

13. Di bawah ini yang tidak termasuk jenis protein adalah . . . .
    A. hemoglobin
    B. insulin
    C. enzim
    D. kasein
    E. glikogen
14. Berikut ini lipid yang termasuk asam lemak jenuh adalah . . . .
    A. asam laurat
    B. asam oleat
    C. asam linoleat
    D. asam linolenat
    E. asam arakidonat
15. Berdasarkan jenis monomernya, yang termasuk protein konjugasi adalah . . . .
    A. fosfoprotein dan lipoprotein
    B. glikoprotein dan albumin
    C. nukleoprotein dan globulin
    D. fosfoprotein dan glutelin
    E. lipoprotein dan protamin

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

1. Tuliskan semua isomer yang mungkin dari $C_5H_{10}O$ dan C_4H_8O!
2. Tuliskan rumus struktur dan penggunaannya!
    a. Na benzoat
    b. Naftalena
    c. Fenol
3. Bagaimana terbentuknya glikogen dalam tubuh manusia dan apakah fungsinya pada tubuh manusia?
4. Jelaskan tentang sifat amfoter dari asam amino!
5. Manakah yang lebih berbahaya asam lemak jenuh atau asam lemak tak jenuh?

Latihan Akhir Tahun

Kerjakan di buku tugas kalian!

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

1. Air memiliki tetapan penurunan titik beku 1,86°C m^{-1}. Apabila air sebanyak 1 ton diharapkan tidak membeku pada suhu –5°C maka garam dapur, NaCl, yang harus dilarutkan jumlahnya tidak boleh kurang dari . . . .
(Diketahui A_r Na = 23, Cl = 35,5)
A. 7,9 kg
B. 15,7 kg
C. 21,8 kg
D. 78,6 kg
E. 157,2 kg

2. Perhatikan tabel di bawah ini!

No.	Larutan	Konsentrasi	ΔT_b
1.	H	0,25 *m*	2°C
2.	I	0,50 *m*	4°C
3.	J	0,75 *m*	5°C
4.	K	0,25 *m*	5°C
5.	L	0,50 *m*	8°C

Berdasarkan data di atas yang termasuk larutan elektrolit adalah larutan . . . .
A. H dan I
B. J dan K
C. K dan L
D. H dan J
E. I dan K

3. Di antara larutan 0,1 M di bawah ini yang memiliki tekanan osmotik paling besar adalah . . . .
A. NaOH
B. $BaCl_2$
C. $C_6H_{12}O_6$
D. $CO(NH_2)_2$
E. CH_3COOH

4. Diketahui potensial sel standar untuk reaksi sel berikut:
$Cu^{2+}(aq) + Zn(s) \rightarrow Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$ $E^\circ_{sel} = +1{,}10$ V
$Pb^{2+}(aq) + Zn(s) \rightarrow Pb(s) + Zn^{2+}(aq)$ $E^\circ_{sel} = +0{,}63$ V
$Cu^{2+}(aq) + Pb(s) \rightarrow Cu(s) + Pb^{2+}(aq)$ $E^\circ_{sel} = +0{,}47$ V
Berdasarkan harga potensial sel standar di atas dapat disimpulkan bahwa urutan reduktor yang semakin menurun untuk ketiga logam di atas adalah . . . .

A. Pb, Zn, Cu
B. Zn, Pb, Cu
C. Cu, Zn, Pb
D. Cu, Pb, Zn
E. Zn, Cu, Pb

5. Apabila arus listrik dialirkan melalui larutan $AgNO_3$ dan $CuSO_4$ yang disusun seri dan diperoleh endapan Ag sebanyak 3,16 gram. Endapan Cu yang dihasilkan adalah . . . . (A_r Cu = 63,54 dan Ag = 107,87)
   A. 0,93 gram
   B. 1,86 gram
   C. 3,72 gram
   D. 5,36 gram
   E. 10,73 gram

6. Pada elektrolisis leburan Al_2O_3 diperoleh 0,225 gram aluminium. Jumlah listrik yang diperlukan adalah . . . . (Diketahui A_r O = 16; A_r Al = 27)
   A. 638,60 coulomb
   B. 804,17 coulomb
   C. 1608,33 coulomb
   D. 2412,5 coulomb
   E. 3860000 coulomb

7. Tawas merupakan senyawa yang dapat digunakan untuk menjernihkan air. Tawas adalah salah satu bentuk senyawa dari . . . .
   A. kromium
   B. belerang
   C. aluminium
   D. silikon
   E. besi

8. Unsur karbon terdapat dalam tiga bentuk, salah satunya adalah bentuk amorf. Unsur karbon di bawah ini yang bukan dalam bentuk amorf adalah . . . .
   A. serbuk gergaji
   B. gambut
   C. kokas
   D. intan
   E. batok kelapa

9. Warna-warna unsur halogen bervariasi. Warna dari unsur fluorin, klorin, bromin, dan iodin berturut-turut . . . .
   A. kuning muda, hijau kekuning-kuningan, merah kecokelatan, dan ungu
   B. hijau kekuning-kuningan, kuning muda, merah kecokelatan, dan ungu

C. hijau kekuning-kuningan, merah kecokelatan, kuning muda, dan ungu
D. hijau kekuning-kuningan, ungu, kuning muda, dan merah kecokelatan
E. ungu, hijau kekuning-kuningan, merah kecokelatan, dan kuning muda

10. Proses elektrolisis untuk mendapatkan aluminium dilakukan dengan menggunakan alat dan bahan . . . .

	Bahan Utama	Bahan Tambahan	Elektroda
A.	Al cair	Na_3AlF_6	Karbon
B.	Al_2O_3 cair	Na_3AlF_6	Karbon
C.	Bauksit	NaOH	Aluminium
D.	Bauksit	CO_2	Karbon
E.	Al_2O_3	NaOH	Karbon

11. Unsur radioaktif berikut yang paling stabil adalah . . . .
A. $^{14}_{6}C$
B. $^{238}_{92}U$
C. $^{16}_{8}O$
D. $^{13}_{6}C$
E. $^{192}_{77}Ir$

12. Isotop ^{222}Rn mempunyai waktu paroh 3,6 hari. Sebanyak 10 gram isotop ^{222}Rn akan tersisa 2,82 gram setelah meluruh selama . . . .
A. 1,9 hari
B. 3,8 hari
C. 7 hari
D. 10 hari
E 11,4 hari

13. Senyawa dengan rumus molekul $C_5H_{12}O$ termasuk kelompok senyawa . . . .
A. aldehid
B. ester
C. eter
D. alkanon
E. asam karboksilat

14. Senyawa organik dengan rumus molekul $C_4H_8O_2$ mempunyai isomer sebanyak . . . .
A. tiga
B. empat
C. lima
D. enam
E. tujuh

15. Reaksi berikut:

$$CH_3CH = CH_2 + HX \rightarrow CH_3 - \underset{\displaystyle X}{\underset{|}{CH}} - CH_3$$

dikenal sebagai reaksi . . . .

A. kondensasi
B. eliminasi
C. oksidasi
D. adisi
E. substitusi

16. Reaksi adisi klor terhadap benzena menghasilkan . . . .

A. 1-kloro benzena
B. orto kloro benzena
C. meta kloro benzena
D. para kloro benzena
E. heksa kloro benzena

17. Karet sintesis adalah polimer dari . . . .

A. propena
B. butena
C. 3-metil-2-butena
D. 2-metil-1,3-butadiena
E. 1,3-butadiena

18. Diberikan data hasil eksperimen uji bahan makanan.

Bahan Makanan	Warna Bahan Makanan setelah Ditambah	
	Pereaksi Iodium	Pereaksi Fehling
K	Biru	Merah bata
L	Kuning kecokelatan	Biru
M	Biru	Merah bata
N	Kuning kecokelatan	Merah bata
O	Merah	Biru

Bahan makanan yang mengandung amilum adalah . . . .

A. K dan M
B. K dan O
C. L dan N
D. M dan O
E. N dan O

19. Reaksi untuk mengenal protein di mana digunakan larutan asam nitrat protein dan memberikan warna kuning pada reaksi tersebut adalah . . . .

A. fehling
B. biuret
C. millon
D. xantoprotein
E. bayer

20. Minyak dapat diubah menjadi lemak melalui reaksi . . . .

A. klorinasi
B. esterifikasi
C. saponifikasi
D. halogenasi
E. hidrogenasi

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

1. Fibrinogen adalah zat yang berfungsi pada penggumpalan darah, bila fibrinogen dari plasma dihilangkan, maka yang tersisa adalah cairan yang disebut serum darah. Titik beku

serum darah manusia sekitar –0,56°C dan pada konsentrasi 1 molal serum darah membeku pada suhu –1,86°C. Tentukan tekanan osmotik per liter serum darah pada suhu 38°C!

2. Setiap cairan yang akan disuntikkan ke dalam aliran darah harus isotonik dengan sel darah merah. Tekanan osmotik darah pada suhu 38°C adalah 7,7 atm. Jelaskan mengapa larutan NaCl 0,9% (larutan fisiologis) dapat digunakan sebagai salah satu cairan infus pada pasien!
3. Sebanyak 300 mL larutan NaCl dielektrolisis selama 6 menit. Jika pH akhir larutan adalah 12,24, berapa jumlah arus listrik yang dilewatkan?
4. Setarakan persamaan reaksi redoks berikut!
   a. $CN^- + MnO_4^- \rightarrow CNO^- + MnO_2$ (suasana basa)
   b. $Cr_2O_7^{2-} + C_2O_4^{2-} \rightarrow Cr^{3+} + CO_2$ (suasana asam)
5. Suatu unsur X mempunyai sifat sebagai berikut:
   a. Pada suhu kamar berwujud padat, rapuh, dan berwarna kuning.
   b. Bila dibakar memberi nyala ungu kebiruan.
   c. Oksida unsur X dengan menghasilkan larutan yang memerahkan lakmus biru.
   d. Tingkat oksidasi unsur tersebut meliputi –2, 0, +4, +6.

   Bila unsur X termasuk unsur periode ketiga, unsur apakah X tersebut?
6. Larutan alkohol monovalen yang massanya 8,8 gram, bila ditambahkan logam natrium menghasilkan 3 L gas hidrogen diukur pada keadaan di mana 2 gas NO (*P*, *T*) massanya 1 gram. Tentukan:
   a. Rumus molekul!
   b. Kemungkinan rumus struktur dan nama senyawa itu bila dioksidasi menghasilkan alkanon!
7. Sebutkan 5 senyawa turunan benzena serta kegunaannya untuk masing-masing senyawa!
8. Sebutkan jenis-jenis polimer berdasarkan asalnya disertai contohnya!
9. Suatu disakarida diubah oleh bakteri menjadi asam laktat dan sedikit larut dalam air.
   a. Apa nama disakarida tersebut?
   b. Tuliskan reaksi hidrolisisnya dan nama monosakarida yang dihasilkan!
10. Apa yang dimaksud dengan denaturasi protein?

Glosarium

Afinitas elektron. Kerja yang diperlukan untuk membuat ion negatif menjadi netral; besarnya kerja ini menunjukkan keelektronegatifan unsur. (116)

Aki. Accumulator. Merupakan sel/baterai dengan elektroda timbal sebagai anoda dan timbal dioksida sebagai katoda dengan larutan elektrolit asam sulfat; aki merupakan baterai yang dapat diisi ulang. (40, 49, 67, 72, 73)

Aldehid. Senyawa karbon dengan gugus fungsi -CHO yang disebut gugus formil. Nama IUPAC alkanal. (164, 165, 175, 177)

Alkali. Golongan unsur yang menempati golongan IA dalam tabel periodik; elektron valensi 1, bersifat sebagai logam sangat reaktif. (109, 110, 111, 112, 113)

Alkali tanah. Golongan unsur yang menempati golongan IIA dalam tabel periodik; elektron valensi 2, bersifat sebagai logam reaktif. (125, 126, 129)

Alkohol. 1) Etanol C_2H_5OH; 2) Secara umum: senyawa organik dengan gugus OH pada atom karbon jenuh. (23, 42, 164, 165, 167, 169, 171, 174, 187)

Alkohol primer. Alkohol dengan gugus -OH terikat pada atom C primer. (198)

Alkohol sekunder. Alkohol dengan gugus -OH terikat pada atom C sekunder. (198)

Alkohol tersier. Alkohol dengan gugus -OH terikat pada atom C tersier. (198)

Aluminium. Unsur dengan nomor atom 13; lambang Al, M_r = 26,9815; logam berwarna putih, ringan dan dapat mulur. (104, 135, 142)

Amfoter. Bersifat asam maupun basa tergantung pada keadaan lingkungannya. (127, 130, 145, 247)

Amilum. Karbohidrat putih, tanpa bau dan tanpa rasa, sangat penting bagi tumbuhan, terdiri atas rantai bercabang molekul-molekul glukosa yang dihasilkan pada proses fotosintesis dalam tumbuhan. (241, 242)

Amorf. Tidak menghablur dan tidak mempunyai bentuk geometri tertentu. (111, 139)

Anilin. Senyawa organik dengan rumus $C_6H_5NH_2$; bersifat basa lemah, tidak berwarna dan jika terkena udara menjadi cokelat. Merupakan bahan dasar pembuatan warna dan obat-obatan serta bahan peledak. (210, 216)

Anion. Atom atau gugus bermuatan listrik negatif. (23, 78, 82)

Asam amino. Asam organik yang mengandung paling sedikit satu gugusan amino (NH_2) dan paling sedikit satu gugusan karboksil (COOH) atau turunannya, merupakan molekul dasar yang diikat satu sama lain melalui ikatan peptida membentuk molekul protein yang lebih besar. (246)

Asam asetat. Asam etanoat (CH_3OOH), disebut juga asam cuka. (25, 26, 181)

Asam benzoat. Senyawa organik dengan rumus C_6H_5COOH, bersifat asam merupakan bahan pengawet makanan dan pembuatan zat warna. (211, 215)

Asam format. Mempunyai rumus HCOOH, asam orgnik yang biasa terdapat pada semut sehingga disebut juga asam semut. (164, 181)

Asam karboksilat. Asam organik yang mengandung gugusan karboksil (–COOH), asam alkanoat. (164, 165, 178)

Asam lemak jenuh. Asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap. (254, 256)

Asam lemak tak jenuh. Asam lemak yang memiliki ikatan rangkap. (254, 255)

Autoredoks. Reaksi oksidasi dan reduksi pada suatu zat secara bersamaan.(41)

Bakelit. Hasil kondensasi formaldehid dan fenol; digunakan sebagai bahan plastik. (176, 229, 232)

Baterai. Sel kimia sebagai sumber potensial atau arus listrik. (67)

Bauksit. Bijih aluminium. (90, 105)

Belerang. Unsur dengan nomor atom 16, lambang S dan A_r = 32,06, merupakan unsur nonlogam getas berwarna kuning; dapat berbentuk kristal bening monoklin atau rhombik. (109, 139)

Benzena. Senyawa organik dengan rumus C_6H_6; keenam atom karbon membentuk sebuah segi enam beraturan dan keenam atom hidrogen terletak pada bidang segi enam itu juga. (6, 9, 13, 18, 215)

Besi. Unsur dengan nomor atom 26, lambang Fe dan A_r = 55,847; logam hitam dan dapat ditarik magnet. (106, 137)

Bidang polarisasi. Satu bidang getar dari suatu cahaya yang terpolarisasi. (192)

DDT. Insektisida dengan rumus diklorodifeniltrikloretana. (185, 216)

Deret Volta. Deretan yang menggambarkan urutan kereaktifan unsur; makin ke kiri letak logam dalam deret Volta maka logam makin reaktif; merupakan reduktor yang semakin kuat. (61)

Desalinasi. Penghilangan garam dari dalam air laut atau tanah. (33)

Diastereoisomer. Isomer-isomer yang bukan enansiomer. (193)

Disakarida. Senyawa karbohidrat yang terdiri atas dua monosakarida. (239)

Distilasi. Proses pemurnian atau pemisahan cairan dengan penguapan kemudian uap dikondensasikan. (11, 144)

Elektrode. Alat atau bagian alat untuk mengalirkan arus listrik ke dalam atau ke luar dari alat, tubuh atau sel: dapat berupa sepotong kawat biasa, tetapi dapat pula rumit, seperti elektroda kalomel, bahkan dapat pula berarti tempat alat itu sendiri. (53, 54, 93)

Elektrode inert. Elektroda yang tidak akan mengalami perubahan ketika reaksi dalam sel elektrolisis dilakukan, misalnya platina (Pt) dan karbon (C). (75)

Elektrode reaktif. Elektrode dari logam reaktif (selain Pt, C, dan Au). (78)

Elektrokimia. Kajian tentang sifat dan reaksi kimia yang melibatkan ion dalam larutan, termasuk elektrolisis dan sel listrik. (49, 94)

Elektrometalurgi. Penggunaan arus listrik untuk memisahkan logam murni dari bijihnya. (90)

Emas. Unsur dengan nomor atom 79, lambang Au dan A_r =196,966; logam berwarna kuning keemasan merupakan logam mulia dapat ulur, sering dipakai sebagai perhiasan. (74, 75, 91)

Enansiomer. Dua isomer yang merupakan bayangan cermin satu dengan yang lainnya. (193)

Energi ionisasi. Sejumlah energi yang dipakai untuk membentuk ion-ion. (121, 125, 131, 134)

Ester. Senyawa karbon dengan gugus fungsi -COOR'. Nama IUPAC ester adalah alkil alkanoat. (164, 166, 181, 190)

Esterifikasi. Reaksi pembentukan ester dari asam (biasanya asam organik dan alkohol). (196, 201)

Etanol. Lihat alkohol (171)

Eter. Senyawa dengan gugus fungsi -O- yang terikat pada dua gugus alkil. Nama IUPAC eter adalah alkoksi alkana. (164, 165, 173, 174)

Fenol. Senyawa organik dengan rumus C_6H_5OH; dapat melepuhkan kulit dan digunakan sebagai disinfektan. (210, 215, 232)

Fraksi mol. Perbandingan antara jumlah mol zat dengan jumlah mol total yang terdapat dalam larutan. (2, 4)

Fruktosa. Monosakarida yang sering disebut levulosa, mempunyai rumus kimia $C_6H_{12}O_6$ tetapi mempunyai gugus keton. (238)

Galaktosa. Monosakarida yang terdapat dalam disakarida laktosa, mempunyai rumus kimia $C_6H_{12}O_6$, mempunyai gugus fungsi aldehid. (238, 241)

Gliserol. Nama lain gliserin, merupakan trihidroksi alkohol yang terdiri atas tiga atom karbon ; zat cair kental, tidak berwarna, dan mempunyai rasa manis. Mudah larut dalam air, merupakan zat hasil samping dalam pembuatan sabun. (171, 172, 182, 255, 256)

Glukosa. Monosakarida yang sering disebut gula darah, mempunyai rumus kimia $C_6H_{12}O_6$, dengan gugus aldehid. (5, 23, 171, 238, 239, 241, 242, 243, 248)

Grafit. Zat padat berwarna hitam, lunak dari karbon dengan struktur bidang trigonal membentuk lingkar enam dengan panjang ikatan antar C sekitar 1,42. (74, 111, 139, 142)

Gugus alkil. Sebuah gugus monovalen yang diturunkan dari sebuah alkana dengan membuang satu atom H. (173, 187, 189)

Gugus fungsional. Suatu atom atau gugus atom dalam suatu senyawa organik yang paling menentukan sifat-sifat zat itu. (212, 235, 236)

Haloalkana. Turunan alkana dengan menggantikan satu atau lebih atom hidrogen dengan atom-atom golongan halogen. (164, 182, 191)

Halogen. Golongan unsur yang menempati golongan VIIA dalam tabel periodik unsur; mempunyai elektron valensi 7, merupakan unsur nonlogam yang reaktif. (113, 116, 122, 182)

Hidrolisis. Reaksi kimia antara air dan suatu zat lain yang menghasilkan satu zat baru atau lebih. (254)

Hipertonik. Larutan yang mempunyai tekanan osmosis lebih tinggi. (32)

Hipotonik. Larutan yang mempunyai tekanan yang lebih rendah. (33)

Homolog. Suatu anggota deret homolog senyawa-senyawa. (164, 186)

Hukum Faraday. Hukum Faraday ada 2: 1. massa zat yang dilepaskan selama elektrolisis berbanding dengan jumlah listrik yang digunakan; 2. massa zat yang dilepaskan pada elektrolisis berbanding lurus dengan massa ekuivalen zat itu. (84)

Hukum Raoult. Tekanan uap jenuh larutan = fraksi mol pelarut dikalikan dengan tekanan uap jenuh pelarut murni. (8)

Ikatan peptida. Ikatan yang menghubungkan sisa asam amino dalam suatu molekul protein. (246)

Intan. Zat padat bening berkilauan, mudah patah menjadi berkeping-keping dan memiliki kekerasan paling tinggi di antara logam yang lain. Dalam intan tiap atom karbon dihubungkan secara tetrahedral terhadap 4 atom C yang lain dengan panjang ikatan 1,54. (111, 139)

Isobar. Dua nuklida atau lebih yang memiliki nomor massa yang sama. (148)

Isomer. Senyawa yang memiliki rumus molekul sama tetapi berbeda dalam rumus bangun atau strukturnya. (185)

Isotonik. Larutan yang mempunyai tekanan osmosis sama. (32)

Isotop. Nuklida dengan nomor atom sama, tetapi bilangan massa berbeda. (148)

IUPAC. Merupakan singkatan dari *International Union of Pure and Aplied*, sebuah organisasi internasional yang menyepakati satuan untuk kimia murni dan terapan. (54, 168, 169, 180, 183)

Karbohidrat. Merupakan senyawa makromolekul yang mengandung karbon, hidrogen dan oksigen, dengan rumus empiris CH_2O. Banyak terdapat dalam bahan nabati baik berupa gula sederhana, maupun yang lebih kompleks seperti pektin, pati, dan selulosa. (234)

Karbon. Unsur dengan nomor atom 6, lambang C dan A_r = 12,011, merupakan komponen utama dalam makhluk hidup, unsur yang merupakan standar dalam perhitungan massa atom relatif. (75, 89, 111, 139, 147)

Karbon asimetris. Atom C yang terikat pada 4 atom yang berbeda. (192)

Katalis. Suatu zat yang mempengaruhi laju reaksi tanpa dirinya diubah secara permanen. (214, 241)

Kation. Ion yang bermuatan positif. (23, 78, 81, 88, 91)

Kemolalan. Perbandingan antara jumlah mol zat terlarut dengan massa dalam kilogram (kg) pelarut, kemolalan mempunyai satuan mol/kg. (2, 3)

Keton. Senyawa karbon dengan gugus fungsi -CO- (karbonil). Nama IUPAC keton adalah alkanon. (165, 176, 177)

Kiral. Sifat untuk molekul yang memiliki atom karbon tak simetris. (192)

Korosi. 1) Secara umum: perusakan lambat benda atau bahan oleh zat kimia dan secara kimia, khususnya secara elektrokimia; 2) Secara khusus reaksi kimia dan elektrokimia antara logam dan sekitarnya. (40, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 135)

Kromium. Unsur dengan nomor atom 24, lambang Cr dan A_r = 51,996; logam putih perak, getas dan keras; ditemukan oleh Vanquelin pada tahun 1797. (108, 138)

Laktosa. Gula susu yang keras, berupa bubuk putih, berasa manis, tidak berbau, stabil di udara, dan larut dalam air. (33, 239, 240, 241)

Lemak. Ester asam lemak dengan gliserol. Pada suhu kamar berbentuk padat. (182, 252, 253, 256)

Magnesium. Logam dengan nomor atom 21, A_r = 24,305 dengan lambang Mg, berwarna putih perak terletak pada golongan IIA, merupakan logam yang reaktif; bereaksi dengan air membentuk basa kuat $Mg(OH)_2$. (97)

Maltosa. Gula gandum, disakarida yang tersusun dari dua satuan glukosa. (239, 241, 242)

Membran semipermeabel. Selaput/lapisan yang hanya dapat dilalui oleh partikel zat pelarut tetapi tidak dapat dilalui oleh partikel zat terlarut. (20, 21, 33)

Mineral. Bahan bukan organik dan bahan organik yang telah menjadi fosil yang terdapat di alam. (19, 42)

Monomer. Senyawa kimia yang molekulnya dapat digabungkan untuk membentuk molekul lebih besar dinamakan polimer. (226)

Monosakarida. Gula sederhana, karbohidrat yang tidak dapat diuraikan secara hidrolisis. (234)

Neutron. Partikel netral dengan nomor massa 1. (150)

Nitrobenzena. Senyawa organik dengan rumus $C_6H_5NO_2$, merupakan zat berwarna kuning dan beracun, digunakan sebagai bahan pewangi sabun. (6, 216)

Nitrogen. Unsur dengan nomor atom 7, lambang N dan A_r = 14,0067; berbentuk gas yang merupakan penyusun utama atmosfer (udara) unsur ini juga terdapat sebagai garam nitrat dalam berbagai mineral. (112, 140, 141, 144)

Nukleon. Partikel penyusun inti atom. (148)

Oksidasi. Berbagai proses yang pada hakikatnya menaikkan valensi (bilangan oksidasi) dari unsur utama dalam sistem itu; mula-mula berupa reaksi dari unsur itu dengan oksigen, kemudian juga dengan halogen dan akhirnya reaksi yang unsur utamanya kehilangan elektron valensinya. (195)

Oksigen. Unsur dengan nomor atom 8, lambang O dan A_r = 15,9994; berbentuk gas dengan rumus O_2 dan merupakan komponen dari kerak bumi dalam bentuk silikat atau oksida; di udara merupakan unsur terbanyak kedua setelah gas nitrogen. (112, 141, 143, 144)

Orbital. Daerah dalam mana paling mungkin elektron itu ditemukan. (210)

Osmosis. Penyebaran (difusi) cairan atau gas melewati dinding berpori atau membran semipermeabel; penyebaran ini disebabkan oleh gaya tarik antara molekul pelarut dan molekul zat terlarut. (19, 20)

Pengoksidasi. Senyawa yang mengalami reaksi reduksi dan menyebabkan zat lain teroksidasi. (41)

Penyabunan. Hidrolisis ester oleh alkali memberikan alkohol dan garam dari sisa asamnya. (201, 254)

Penyepuhan. *Electroplating.* Proses pelapisan suatu logam dengan logam lain dalam elektrolisis. (92)

Polimer. 1) Senyawa yang terbentuk dari gabungan dua molekul atau lebih senyawa lain; perbandingan banyaknya unsur tetap, contoh: pada formaldehida dari tiga molekul formaldehida; 2) Tiap-tiap anggota deret senyawa yang terbuat dari penyusun yang sama berdasarkan ikatan kovalen: contoh Cx-Cn dengan n = 50 atau lebih, misal senyawa polivinil. (226)

Polimerisasi adisi. Pembentukan polimer dengan cara bergabungnya molekul-molekul monomer yang berikatan rangkap satu dengan lain membentuk rantai panjang. (227)

Polimerisasi kondensasi. Pembentukan polimer di mana monomer-monomernya bergabung dengan membebaskan molekul sederhana. (227)

Polisakarida. Karbohidrat yang mengandung lebih dari 3 molekul sederhana. (241)

Potensial elektrode. Selisih potensial yang dihasilkan di antara elektrode dan larutannya dalam *setengah sel.* (53, 54)

Potensial elektrode standar. Gaya dorong (gaya gerak listrik) dari reaksi redoks yang diukur pada keadaan standar (konsentrasi 1 M, tekanan 1 atmosfer, dan suhu 25°C). (53, 54, 56)

Proses bilik timbal. Proses pembuatan asam sulfat dengan menggunakan katalisator uap nitroso. Campuran gas bersama udara dan uap air dialirkan ke dalam ruangan (bilik) yang dilapisi timbal, sehingga akan terbentuk asam nitrosil yang dengan tambahan air akan menjadi asam sulfat. (146)

Proses kontak. Proses pembuatan asam sulfat dengan menggunakan bahan baku SO_2 yang diperoleh dari pemanggangan sulfida, kemudian gas SO_2 yang terjadi dialirkan dengan katalisator V_2O_5 menjadi SO_3. SO_3 yang terjadi dicampur dengan asam sulfat encer sehingga menjadi asam pirosulfat yang akan menjadi asam sulfat pekat jika ditambah dengan air. (145)

Protein. Merupakan komponen utama penyusun sel makhluk hidup. Merupakan polipeptida yang mempunyai massa molekul yang besar mulai dari 5000C hingga lebih dari satu juta. (246)

Proton. Partikel dengan nomor massa 1 dan bermuatan listrik positif. (150)

PVC. Kependekan dari *Polivinil Chlorida*, merupakan polimer dengan monomer vinil klorida (CH_2CHCl) tidak beracun dalam kehidupan sehari-hari sering dipakai sebagai pralon. (226, 228, 230, 231, 233)

Redoks. Kependekan dari reduksi-oksidasi; reaksi yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi secara bersamaan. (40)

Reduktor. Zat pereduksi. (41)

Sel elektrolisis. Rangkaian alat (sel) yang menghasilkan reaksi kimia karena adanya arus listrik. (49, 73, 89)

Sel merkuri. Sel yang menggunakan merkuri (Hg) sebagai katodanya. Sel ini dipakai pada proses elektrolisis yang menghasilkan NaOH dengan kemurnian tinggi. (90)

Sel primer. Sel Volta yang reaksi kimianya tidak reversibel sehingga sel tidak dapat dicas atau disetrum. (67)

Sel sekunder. Sel Volta yang reaksi kimianya menghasilkan potensial listrik dan bersifat reversibel sehingga sel dapat dicas dengan melewatkan arus ke dalamnya. (67)

Sel Volta. Penataan bahan kimia dan penghantar listrik yang memberikan aliran elektron lewat rangkaian luar dari suatu zat kimia yang teroksidasi ke zat kimia yang direduksi. (49, 64, 66)

Selulosa. Karbohidrat penyusun dinding sel tumbuhan $(C_6H_{10}O_5)_x$. (228, 243)

Senyawa aromatik. Senyawa karbon yang memiliki satu lingkar benzena atau lebih. (208)

Senyawa makromolekul. Molekul yang sangat besar, misalnya molekul polimer. (226)

Sifat koligatif. Sifat fisika yang hanya tergantung pada jumlah partikel zat terlarut dan tidak tergantung pada jenis partikel zat terlarut, misalnya tekanan osmosis, titik didih, titik beku, dan tekanan uap. (2, 22, 31)

Silikon. Unsur dengan nomor atom 14, lambang Si dan A_r = 28,086; unsur bukan logam dari golongan karbon yang terdapat dalam beberapa bentuk (amorf, kristalin, mirip grafit, dan mirip intan); terdapat dalam kerak bumi sebagai silikat. (105, 136)

Stereoisomer. Keisomeran ruang. (191)

Sukrosa. Karbohidrat disakarida, hablur putih; pada hidrolisis menghasilkan glukosa dan fruktosa. (239)

Tekanan osmotik. Tekanan untuk mencegah aliran pelarut melintasi membran dari pelarut ke dalam larutan.(19, 20)

Tekanan uap. Tekanan yang terdapat tepat di atas permukaan zat cair; tekanan yang ditimbulkan oleh uap jenuh. (2, 7, 8, 10, 24)

Tembaga. Unsur dengan nomor atom 29, lambang Cu dan A_r = 63,546; logam merah, yang sering dipakai sebagai dasar dalam elektroplating yang berfungsi sebagai penghantar listrik yang baik. (109, 138)

Termoplastik. Jenis polimer yang melunak ketika terkena panas dan mengeras kembali setelah didinginkan. (229, 230)

Termosetting. Jenis polimer yang tetap keras (tidak lunak) ketika terkena panas. (229, 230)

Titik beku. Suhu yang dicapai ketika tekanan uap jenuh cairan sama dengan tekanan uap padatannya. (12)

Titik didih. Suhu yang dicapai ketika tekanan uap jenuh sama dengan tekanan luar; zat mendidih pada suatu suhu di bawah tekanan 1 atmosfer; artinya pada suhu itu tekanan uap jenuh zat itu sama dengan 1 atmosfer. (17)

Titik tripel. Titik tempat tiga fase membentuk kesetimbangan; misal titik tripel air pada tekanan 1 atmosfer adalah 0°C artinya pada suhu tersebut terdapat kesetimbangan antara uap air-es dan cair. (7)

Zat pelarut. Solven, komponen dalam larutan yang berjumlah lebih banyak; berfungsi sebagai pelarut. (3, 4, 7, 8)

Zat terlarut. Solut, komponen dalam larutan berjumlah lebih sedikit; merupakan zat yang terlarut oleh pelarut. (3, 4, 7, 8)

Daftar Pustaka

Berniece G, Segal. 1989. *Chemistry (Experiment and Theory).* New York: John Willey and Sons.

Chang, Raymond. 2000. *Essential Chemistry (A Core Text for General Chemistry).* Boston: Mc Graw Hill.

Daitith, John. 2004. *Kamus Lengkap Kimia* (Terjemahan: Suminar Achmadi). Jakarta: Erlangga (Buku asli terbitan tahun 1990).

Day, M.C. & Selbin, Joel. 1987. *Kimia Anorganik Teori.* (Terjemahan: Wisny Susetyo). Yogyakarta: Gajah Mada University Press (Buku asli terbit tahun 1984).

Depdiknas. 2006. *Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah.* Jakarta: Pusat Kurikulum Balitbang Depdiknas.

Edward C, Fuller. 1974. *Chemistry and Man's Environment.* Boston: Hounghton Mifflin Company.

Gifffin JR, Rodger W. 1969. *Modern Organic Chemistry.* New York: Mc Graw Hill Ltd.

Grolier International. 2002. *Ilmu Pengetahuan Populer.* Jakarta: PT Widyadara.

Grolier International. 2005. *Oxford Ensiklopedi Pelajar.* Jakarta: PT Widyadara.

Grolier International. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar.* Jakarta. PT Ichtiar Baru Van Hoeve.

Jean-Claude Corbeil & Ariane Arcambault. 2004. *Kamus Visual.* QA International.

John W, Hill & Dorris K, Klob. 1992. *Chemistry for Changing Times 7th Edition.* New Jersey: Prentice Hall.

John W, Hill Ralph H, Petrucci. 2002. *General Chemistry (An Integrated Approach).* New Jersey: Prentice Hall.

Keenan, Kleinfelter, Wood. 1996. *Kimia untuk Universitas Jilid 1* (Terjemahan: Aloysius Hadyana Pudjatmaka). Jakarta: Erlangga (Buku asli terbit tahun 1980).

Keenan, Kleinfelter, Wood. 1999. *Kimia untuk Universitas Jilid 2* (Terjemahan: Aloysius Hadyana Pudjatmaka). Jakarta: Erlangga (Buku asli terbit tahun 1980).

Kristian H. Sugiyarto. 2000. *Kimia Anorganik.* Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.

Lianko, A.A & Coraleja, E.F. 1996. *Science and Technology III (Chemistry-Technology)* Revisid Edition. Philippine: FNB Education, Inc.

Pine, Stanley H, dkk. 1988. *Kimia Organik, Terbitan Keempat.* Bandung: ITB.

Ralp J. Fessenden & Joan S. Fessenden. 1999. *Kimia Organik Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
Sukmariah, M & Kamianti, A. 1990. *Kimia Kedokteran*. Jakarta: Binaputra Aksara.
Suroso Ay, dkk. 2003. *Ensiklopedi Sains & Kehidupan*. Jakarta: CV. Tarity Samudra Berlian.
Tuntun Sinaga. (Penj). 2001. *Jendela Iptek: Kimia*. Jakarta: Balai Pustaka.
Sumber lain:
www.prenhall.com
www.chemistry.org
www.corrosion-doctors.org
www.science.howstuffworks.com
www.bgrg.sulinet.hu
www.kompas.com
www.all-battery.com
www.electroniscoutfitter.com
www.xtreme.hawai.edu
www.tempointeraktif.com
www.med.nis.edu.sg
www.icavts.tec.ok.us

Indeks

A

accumulator 67
afinitas elektron 116
aki 40, 49, 67, 72, 73
alcoa 90
aldehid 164, 165, 175, 177
Alessandro Volta 50, 53
alkali 109, 110, 111, 112, 113
alkali tanah 125, 126, 129
alkanol 167
Alkilasi Friedel-Crafts 214
alkohol 23, 42, 164, 165, 167, 169, 171, 174, 187
alkohol primer 198
alkohol sekunder 198
alkohol tertier 198
alnico 136
alotropi 113
aluminium 104, 135, 142
amfoter 127, 130, 145, 247
amilum 241, 242
amonia 42, 141, 144, 145
amonium nitrat 140
amorf 111, 139
anilin 210, 216
anion 23, 78, 82
antrasena 213
asam amino 246
asam asetat 25, 26, 181
asam benzoat 211, 215
asam format 164, 181
asam karboksilat 164, 165, 178
asam laktat 178
asam lemak jenuh 254, 256
asam lemak tak jenuh 254, 255
asilasi Friedel-Crafts 214
autoredoks 41

B

baja nikel 137
bakelit 176, 229, 232
baterai 67
baterai alkali 68, 70
baterai kering 67
baterai litium 71
baterai nikel kadmium 70
baterai NiMH 71
baterai perak oksida 70
bauksit 90, 105
belerang 109, 139
benedict 241
benzaldehid 208, 211
benzena 6, 9, 13, 18, 215
besi 106, 137
bidang polarisasi 192
bilik timbal 145, 146

C

cara bilangan oksidasi 46
Charles Hall 90

D

dampak korosi 96
DDT 185, 216
denaturasi 247
Deret Volta 61
desalinasi 33
diastereoisomer 193
disakarida 239
disproporsionasi 41, 117
distilasi 11, 144

E

eksoterm 145
electroplating 92
elektrifikasi 112
elektrode 53, 54, 93
elektrode inert 75
elektrode reaktif 78
elektrode standar 54
elektrokimia 49, 94
elektrometalurgi 90
emas 74, 75, 91
enansiomer 193
energi ionisasi 116, 121, 125, 131, 134
ester 164, 166, 181, 190
esterifikasi 196, 201
etanol 171
eter 164, 165, 173, 174
etilen glikol 2, 3, 5, 170

F

Faktor van't Hoff 24
Faraday 209
Fehling 200, 238, 241
fenol 210, 215, 232
fiksasi 112

Fischer 237
fisi 151
formaldehid 170, 176
fraksi mol 2, 4
freon 114, 184
fruktosa 238
fusi 151

G

galaktosa 238, 241
Galvani 50
gliserol 171, 172, 182, 255, 256
glukosa 5, 23, 171, 238, 239, 241, 242, 243, 248
grafit 74, 111, 139, 142
gugus alkil 173, 187, 189
gugus fungsi 165
gugus fungsional 212, 235, 236
gula inversi 239

H

haloalkana 164, 182, 191
halogen 113, 116, 122, 182
halogenisasi 213
Haworth 237
hidrogenasi 254, 255
hidrolisis 254
hipertonik 32
hipotonik 33
homolog 164, 186
hujan asam 139
hukum Faraday 84
hukum I Faraday 85
hukum II Faraday 86
hukum Raoult 8

I

ikatan peptida 246
intan 111, 139
iodoform 184
ion elektron 43
isobar 148
isomer 185
isomer inti 148
isomer optis 237
isoton 148
isotonik 32
isotop 148
IUPAC 54, 168, 169, 180, 183

K

karbohidrat 234
karbon 75, 89, 111, 139, 147
karbon asimetris 192
katalis 214, 241
kation 23, 78, 81, 88, 91
keisomeran geometris 191
keisomeran gugus fungsi 186
keisomeran kerangka 186
keisomeran optis 192
keisomeran posisi 186
Kekule 209
kemolalan 2, 3
kespontanan reaksi 60
keton 165, 176, 177
kiral 192
kondensasi 10
korosi 40, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 135
kromium 108, 138

L

laktosa 33, 239, 240, 241
Lechlance 67, 68
lemak 182, 252, 253, 256
Luigi Galvani 50

M

magnesium 97
maltosa 239, 241, 242
membran semipermeabel 20, 21, 33
metaloid 134
metanol 170, 171
mineral 19, 42
minyak 182, 252, 253, 255
monel 138
monomer 226
monosakarida 234

N

naftalena 213
neutron 150
Niels Bohr 124
nilon 226, 228, 232
nitrasi 214
nitrobenzena 6, 216
nitrogen 112, 140, 141, 144
nukleon 148
nuklida 148
nuklida stabil 150

O

oksidasi 195
oksigen 112, 141, 143, 144
optis aktif 192
orbital 210
osmosis 19, 20

osmosis terbalik 33
ozon 114, 141, 184

P

pembuatan besi 146
pemurnian logam 91
pencegahan korosi 97
penentuan umur 152
pengoksidasi 41
penyabunan 201, 254
penyepuhan 92
perak 91
pereduksi 41
periode ketiga 130
pita kestabilan 149
polarisator 192
polimer 226
polimerisasi adisi 227
polimerisasi kondensasi 227
polisakarida 241
porous 96, 98
positron 150
potensial elektrode 53, 54
potensial elektrode standar 53, 54, 56
potensial reduksi standar 55
potensial sel 56
proses bilik timbal 146
proses Haber-Bosch 144
proses Hall-Heroult 142
proses kontak 145
protein 246
proton 150
pupuk 140
PVC 226, 228, 230, 231, 233

R

radionuklida alam primer 151
radionuklida buatan 151
raksa 90
Raoult 8
rayon 233
reaksi adisi 184, 194, 198
reaksi eliminasi 195, 202
reaksi ester 201
reaksi esterifikasi 196, 201
reaksi eter 198
reaksi inti 151
reaksi keton 200
reaksi oksidasi 199
reaksi pada anode 76, 78, 80, 81, 82, 93
reaksi pada katode 76, 77, 80, 81, 82, 93
reaksi penetralan 200
reaksi reduksi 195, 199
reaksi substitusi 194, 196
redoks 40
redoks spontan 48
reduktor 41

S

sel diafragma 90
sel Edison 70
sel elektrolisis 49, 73, 89
sel Lechlance 67
sel merkuri 90
sel primer 67
sel sekunder 67
sel timbal 72
sel Volta 49, 64, 66
selulosa 228, 243
senyawa aromatik 208
senyawa makromolekul 226
setengah reaksi 43
sifat koligatif 2, 22, 31
sifat polimer 230
silikon 105, 136
sinamaldehid 208, 212
stainless steel 107, 137, 138
stereoisomer 191
stirena 215
struktur benzena 208
struktur cincin 237
substitusi haloalkana 201
sukrosa 239
sulfonasi 215

T

teflon 226, 228, 230, 231
tekanan osmotik 19, 20
tekanan uap 2, 7, 8, 10, 24
tembaga 109, 138
termoplastik 229, 230
termosetting 229, 230
tetapan kenaikan titik didih 17
tetapan penurunan titik beku 13
titik beku 12
titik didih 17
titik tripel 7
tollens 199, 237, 238, 241
toluena 9, 11, 210, 215, 216
turunan alkana 166

U

uji belerang 249
uji biuret 248
uji millon 248
uji protein 248

uji xantoprotein 248, 250
ultraviolet 114, 141

V

vanilin 212
van't Hoff 24, 25, 26, 30
volatil 11

W

warna nyala 127
wol 233

Z

ZA 140
zat pelarut 3, 4, 7, 8
zat terlarut 3, 4, 7, 8
zink 41, 50, 51, 67, 69, 92
zwitterions 247

Lampiran:

Unsur-unsur Kimia

Nilai dalam kurung kurawal menunjukkan massa dari jenis atom unsur bersangkutan yang sudah lama dikenal.

Unsur	Simbol Atom	Nomor Atom	Massa Atom (sma)	Bilangan Oksidasi	Elektro-negativitas
Aktinium	Ac	89	227	+3	1,1
Aluminium	Al	13	27	+3	1,5
Amerisium	Am	95	[243]	+3	1,3
Antimon	Sb	51	122	+3; +5; –3	1,9
Argentum (perak)	Ag	47	108	+1	1,9
Argon	Ar	18	40	±0	
Arsen	As	33	75	+3; +5; –3	2,0
Astatin	At	85	[210]	–1	2,2
Aurum (emas)	Au	79	197	+1; +3	2,4
Barium	Ba	56	137	+2	0,9
Barkelium	Bk	97	[247]	+3	1,3
Berilium	Be	4	9	+2	1,5
Bismut	Bi	83	209	+3; –3	1,9
Boron	B	5	11	+3	2,0
Brom	Br	35	80	+1; +5; –1	2,8
Disprosium	Dy	66	162,5	+3	1,2
Einsteinium	Es	99	[252]		1,3
Erbium	Er	68	167	+3	1,2
Eropium	Eu	63	152	+3	1,2
Fermium	Fm	100	[257]		1,3
Ferrum (besi)	Fe	26	56	+2; +3; +6	1,8
Fluor	F	9	19	–1	4,0
Fosfor	P	15	31	+3; +5; –3	2,1
Fransium	Fr	87	[223]	+1	0,7
Gadolinium	Gd	64	157	+3	1,1
Gallium	Ga	31	70	+3	1,6
Germanium	Ge	32	72,5	+4	1,8
Hafnium	Hf	72	178,5	+4	1,3
Helium	He	2	4	±0	
Hidrogen	H	1	1	+1; –1	2,1
Holmium	Ho	67	165	+3	1,2
Indium	In	49	115	+3	1,7
Iod	I	53	127	+1; +5; +7; –1	2,5
Iridium	Ir	77	192	+3; +4	2,2
Iterbium	Yb	70	173	+3	1,1
Itrium	Y	39	89	+3	1,3

Unsur	Simbol Atom	Nomor Atom	Massa Atom (sma)	Bilangan Oksidasi	Elektro-negativitas
Kadmium	Cd	48	112,5	+2	1,7
Kalifornium	Cf	98	[251]	+3	1,3
Kalium	K	19	39	+1	0,8
Kalsium	Ca	20	40	+2	1,0
Karbon	C	6	12	+2; +4; –2	8,5
Klor	Cl	17	35,5	+1; +3; +5; +7; –1	3,0
Kobalt	Co	27	59	+2; +3	1,8
Kripton	Kr	36	84	±0	
Krom	Cr	24	52	+2; +3; +6	1,6
Kurium	Cm	96	[247]	+3	1,3
Lantanum	La	57	139	+3	1,1
Litium	Li	3	7	+1	1,0
Lutesium	Lu	71	175	+3	1,2
Magnesium	Mg	12	24	+2	1,2
Mangan	Mn	25	55	+2; +4; +6; +7	1,5
Molibdenum	Mo	42	96	+6	1,8
Natrium	Na	11	23	+1	0,9
Neodimium	Nd	60	144	+3	1,2
Neon	Ne	10	20	±0	
Neptunium	Np	93	[237]	+5	1,3
Nikel	Ni	28	59	+2	1,8
Niobium	Nb	41	93	+5	1,6
Nitrogen	N	7	14	+3; +5; –3	3,0
Oksigen	O	8	16	–2	3,5
Osmium	Os	76	190	+4; +8	2,2
Paladium	Pd	46	106	+2; +4	2,2
Platina	Pt	78	195	+2; +4	2,2
Plutonium	Pu	94	[244]	+4	1,3
Polonium	Po	84	[209]	+4; –2	2,0
Praseodimium	Pr	59	141	+3	1,1
Prometium	Pm	61	[145]	+3	1,2
Protaktinium	Pa	91	231	+5	1,5
Radium	Ra	88	226	+2	0,9
Radon	Rn	86	[222]	±0	
Raksa (hidrorgirum)	Hg	80	200,5	+1; +2	1,9
Renium	Re	75	186	+7	1,9
Rodium	Rh	45	103	+3; +4	2,2
Rubidium	Rb	37	85,5	+1	0,8
Rutenium	Ru	44	101	+4; +8	2,2
Sesium	Cs	55	133	+1	0,7
Samarium	Sm	62	150	+3	1,2
Selenium	Se	34	79	+4; +6; –2	2,4

Unsur	Simbol Atom	Nomor Atom	Massa Atom (sma)	Bilangan Oksidasi	Elektro-negativitas
Seng	Zn	30	65	+2	1,6
Serium	Ce	58	140	+3	1,1
Silisium	Si	14	28	+4; –4	1,8
Skandium	Sc	21	45	+3	1,3
Strontium	Sr	38	87,5	+2	1,0
Sulfur	S	16	32	+4; +6; –2	2,5
Talium	Tl	81	204	+3	1,8
Tantal	Ta	73	181	+5	1,5
Teknesium	Tc	43	[98]	+7	1,9
Telurium	Te	52	127,5	+4; +6; –2	2,1
Tembaga	Cu	29	63,5	+1; +2	1,9
Terbium	Tb	65	159	+3	1,2
Timah	Sn	50	119	+2; +4	1,8
Timbal	Pb	82	207	+2; +4	1,8
Titan	Ti	22	48	+4	1,5
Torium	Th	90	232	+4	1,3
Tulium	Tm	69	169	+3	1,2
Uranium	U	92	238	+4; +5; +6	1,7
Vanadium	V	23	51	+5	1,6
Wolfram	W	74	184	+6	1,7
Xenon	Xe	54	131	±0	
Zirkonium	Zr	40	91	+4	1,4

Jari-jari Atom dan Ion dari Beberapa Unsur (10^{-12} m)

Simbol Atom	Jari-jari Atom	Jari-jari Ion	Simbol Atom	Jari-jari Atom	Jari-jari Ion	Simbol Atom	Jari-jari Atom	Jari-jari Ion
Al	143	50 (+3)	I	133	216 (–1)	S	104	184 (–2)
Ba	217	135 (+2)	K	231	133 (+1)	Se	117	198 (–2)
Be	112	31 (+2)	Cu	128	72 (+2)	Ag	144	126 (+1)
Br	114	195 (–1)	Li	152	60 (+1)	Si	117	41 (+4)
Cs	262	169 (+1)	Mg	160	65 (+2)	N	70	171 (–3)
Ca	197	97 (+2)	Na	186	95 (+1)	Sr	215	113 (+2)
Cl	99	181 (–1)	P	110	212 (–3)	Te	137	221 (–2)
Fe	124	64 (+3)	Rb	244	148 (+1)	Zn	133	74 (+2)
F	64	136 (–1)	O	66	140 (–2)			

Konstanta Keasaman (K_a) dan Kontanta Kebasaan (K_b) pada 22°C

K_a (mol L^{-1})	pK_a	Rumus Asam	Rumus Basa yang Sesuai	pK_b	K_b (mol L^{-1})
$1{,}0 \times 10^{11}$	−11	HI	I^-	25,00	$1{,}0 \times 10^{-25}$
$1{,}0 \times 10^{10}$	−10	$HClO_4$	ClO_4^-	24,00	$1{,}0 \times 10^{-24}$
$1{,}0 \times 10^{9}$	−9	HBr	Br^-	23,00	$1{,}0 \times 10^{-23}$
$1{,}0 \times 10^{7}$	−7	HCl	Cl^-	21,00	$1{,}0 \times 10^{-21}$
$1{,}0 \times 10^{3}$	−3	H_2SO_4	HSO_4^-	17,00	$1{,}0 \times 10^{-17}$
55,5	−1,74	H_3O^+	H_2O	15,74	$1{,}8 \times 10^{-16}$
$2{,}1 \times 10^{1}$	−1,32	HNO_3	NO_3^-	15,32	$4{,}8 \times 10^{-16}$
$6{,}6 \times 10^{-1}$	0,18	$[(NH_2)CO(NH_2)]^+$	$CO(NH_2)_2$	13,82	$1{,}9 \times 10^{-14}$
$5{,}6 \times 10^{-2}$	1,25	$HOOC\text{-}COOH$	$HOOC\text{-}COO^-$	12,75	$1{,}7 \times 10^{-13}$
$1{,}5 \times 10^{-2}$	1,81	H_2SO_3	HSO_3^-	12,19	$6{,}5 \times 10^{-13}$
$1{,}2 \times 10^{-2}$	1,92	HSO_4^-	SO_4^{2-}	12,08	$8{,}3 \times 10^{-13}$
$7{,}5 \times 10^{-3}$	2,12	H_3PO_4	$H_2PO_4^-$	11,88	$1{,}3 \times 10^{-12}$
$6{,}0 \times 10^{-3}$	2,22	$[Fe(H_2O)_6]^{3+}$	$[Fe(OH)(H_2O)_5]^{2+}$	11,78	$1{,}7 \times 10^{-12}$
$7{,}2 \times 10^{-4}$	3,14	HF	F^-	10,86	$1{,}4 \times 10^{-11}$
$4{,}5 \times 10^{-4}$	3,35	HNO_2	NO_2^-	10,65	$2{,}2 \times 10^{-11}$
$1{,}8 \times 10^{-4}$	3,75	$HCOOH$	$HCOO^-$	10,25	$5{,}6 \times 10^{-11}$
$2{,}6 \times 10^{-5}$	4,58	$C_6H_5NH_3^+$	$C_6H_5NH_2$	9,42	$3{,}8 \times 10^{-10}$
$1{,}8 \times 10^{-5}$	4,75	CH_3COOH	CH_3COO^-	9,25	$5{,}6 \times 10^{-10}$
$1{,}4 \times 10^{-5}$	4,85	$[Al(H_2O)_6]^{3+}$	$[Al(OH)(H_2O)_5]^{2+}$	9,15	$7{,}1 \times 10^{-10}$
$3{,}0 \times 10^{-7}$	6,52	H_2CO_3	HCO_3^-	7,48	$3{,}3 \times 10^{-8}$
$1{,}2 \times 10^{-7}$	6,92	H_2S	HS^-	7,08	$8{,}3 \times 10^{-8}$
$9{,}1 \times 10^{-8}$	7,04	HSO_3^-	SO_3^{2-}	6,96	$1{,}1 \times 10^{-7}$
$6{,}2 \times 10^{-8}$	7,20	$H_2PO_4^-$	HPO_4^{2-}	6,80	$1{,}6 \times 10^{-7}$
$5{,}6 \times 10^{-10}$	9,25	NHO_4^+	NH_3	4,75	$1{,}8 \times 10^{-5}$
$4{,}0 \times 10^{-10}$	9,40	HCN	CN^-	4,60	$2{,}5 \times 10^{-5}$
$2{,}5 \times 10^{-10}$	9,60	$[Zn(H_2O)_4]^{2+}$	$[Zn(OH)(H_2O)_3]^+$	4,40	$4{,}0 \times 10^{-5}$
$1{,}3 \times 10^{-10}$	9,89	C_6H_5OH	$C_6H_5O^-$	4,11	$7{,}8 \times 10^{-5}$
$4{,}0 \times 10^{-11}$	10,40	HCO_3^-	CO_3^{2-}	3,60	$2{,}5 \times 10^{-4}$
$4{,}4 \times 10^{-13}$	12,36	HPO_4^{2-}	PO_4^{3-}	1,64	$2{,}3 \times 10^{-2}$
$1{,}0 \times 10^{-13}$	13,00	HS^-	S^{2-}	1,00	$1{,}0 \times 10^{-1}$
$1{,}8 \times 10^{-16}$	15,74	H_2O	OH^-	−1,74	55,5
$1{,}0 \times 10^{-23}$	23	NH_3	NH_2^-	−9	$1{,}0 \times 10^{9}$
$1{,}0 \times 10^{-24}$	24	OH^-	O^{2-}	−10	$1{,}0 \times 10^{10}$

Kelarutan Beberapa Garam dalam Air

Kelarutan dinyatakan dalam jumlah g garam yang dapat larut dalam 100 g air pada 20°C dan 1 atm

Ion	Cl^-	Br^-	I^-	S^{2-}	SO_3^{2-}	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	PO_4^{3-}
Na^+	36	91	179	88	19	19	22	12
K^+	34	66	144	32	-	11	112	23
NH_4^+	37	74	172	188	-	75	100	20
Mg^{2+}	54	102	148	71	-	36	2×10^{-1}	-
Ca^{2+}	75	142	204	127	-	2×10^{-1}	2×10^{-1}	2×10^{-2}
Ba^{2+}	36	104	170	9	-	3×10^{-4}	2×10^{-3}	-
Cu^{2+}	77	122	-	122	3×10^{-3}	21	-	-
Ag^+	2×10^{-4}	1×10^{-5}	3×10^{-7}	218	1×10^{-5}	8×10^{-1}	3×10^{-3}	-
Zn^{2+}	367	447	432	118	-	54	2×10^{-2}	-
Pb^{2+}	1	9×10^{-1}	7×10^{-2}	52	9×10^{-5}	4×10^{-3}	1×10^{-4}	1×10^{-7}
Fe^{2+}	62	-	-	-	6×10^{-4}	27	-	-
Al^{3+}	46	-	-	75	-	36	-	-

Hasil Kali Kelarutan K_{sp} pada 25°C

Nama Zat	Rumus Kimia	Hasil Kali Kelarutan K_{sp}		Eksponen Hasil Kali Kelarutan (pK_{sp})
		Nilai Bilangan	Satuan	
Aluminium hidroksida	$Al(OH)_3$	$1,0 \times 10^{-33}$	$mol^4 \times L^{-4}$	33,0
Barium fosfat	$Ba_3(PO_4)_2$	$6,0 \times 10^{-39}$	$mol^5 \times L^{-5}$	37,2
Barium hidroksida	$Ba(OH)_2$	$4,3 \times 10^{-3}$	$mol^3 \times L^{-3}$	2,4
Barium karbonat	$BaCO_3$	$8,1 \times 10^{-9}$	$mol^2 \times L^{-2}$	8,1
Barium sulfat	$BaSO_4$	$1,0 \times 10^{-10}$	$mol^2 \times L^{-2}$	10,0
Besi(II) fosfat	$Fe_3(PO_4)_2$	$1,0 \times 10^{-36}$	$mol^5 \times L^{-5}$	36,0
Besi(II) hidroksida	$Fe(OH)_2$	$4,8 \times 10^{-16}$	$mol^3 \times L^{-3}$	15,3
Besi(II) sulfida	FeS	$5,0 \times 10^{-18}$	$mol^2 \times L^{-2}$	17,3
Besi(III) fosfat	$FePO_4$	$4,0 \times 10^{-27}$	$mol^2 \times L^{-2}$	26,4
Besi(III) hidroksida	$Fe(OH)_3$	$3,8 \times 10^{-38}$	$mol^4 \times L^{-4}$	37,4
Bismut(III) sulfida	Bi_2S_3	$1,6 \times 10^{-72}$	$mol^5 \times L^{-5}$	71,8
Kadmium hidroksida	$Cd(OH)_2$	$1,2 \times 10^{-14}$	$mol^3 \times L^{-3}$	13,9
Kadmium karbonat	$CdCO_3$	$2,5 \times 10^{-14}$	$mol^2 \times L^{-2}$	13,6
Kadmium sulfida	CdS	$1,0 \times 10^{-29}$	$mol^2 \times L^{-2}$	29,0
Kalsium fosfat	$Ca_3(PO_4)_2$	$1,0 \times 10^{-25}$	$mol^5 \times L^{-5}$	25,0
Kalsium hidroksida	$Ca(OH)_2$	$5,5 \times 10^{-6}$	$mol^3 \times L^{-3}$	5,3
Kalsium karbonat	$CaCO_3$	$4,8 \times 10^{-9}$	$mol^2 \times L^{-2}$	8,3
Kalsium oksalat	CaC_2O_4	$2,6 \times 10^{-9}$	$mol^2 \times L^{-2}$	8,6
Kalsium sulfat	$CaSO_4$	$6,1 \times 10^{-5}$	$mol^2 \times L^{-2}$	4,2

Nama Zat	Rumus Kimia	Hasil Kali Kelarutan K_{sp}		Eksponen Hasil Kali Kelarutan (pK_{sp})
		Nilai Bilangan	Satuan	
Magnesium fosfat	$Mg_3(PO_4)_2$	$6{,}0 \times 10^{-23}$	$mol^5 \times L^{-5}$	22,2
Magnesium hidroksida	$Mg(OH)_2$	$2{,}6 \times 10^{-12}$	$mol^3 \times L^{-3}$	11,6
Magnesium karbonat	$MgCO_3$	$2{,}6 \times 10^{-5}$	$mol^2 \times L^{-2}$	4,6
Mangan hidroksida	$Mn(OH)_2$	$4{,}0 \times 10^{-14}$	$mol^3 \times L^{-3}$	13,4
Nikel sulfida	NiS	$1{,}0 \times 10^{-26}$	$mol^2 \times L^{-2}$	26,0
Nikel(II) hidroksida	$Ni(OH)_2$	$1{,}6 \times 10^{-14}$	$mol^3 \times L^{-3}$	13,8
Perak bromida	AgBr	$6{,}3 \times 10^{-13}$	$mol^2 \times L^{-2}$	12,2
Perak fosfat	Ag_3PO_4	$1{,}8 \times 10^{-18}$	$mol^4 \times L^{-4}$	17,7
Perak hidroksida	AgOH	$1{,}5 \times 10^{-8}$	$mol^2 \times L^{-2}$	7,8
Perak iodida	AgI	$1{,}5 \times 10^{-16}$	$mol^2 \times L^{-2}$	15,8
Perak karbonat	Ag_2CO_3	$6{,}2 \times 10^{-12}$	$mol^3 \times L^{-3}$	11,2
Perak klorida	AgCl	$1{,}6 \times 10^{-10}$	$mol^2 \times L^{-2}$	9,8
Perak kromat	Ag_2CrO_4	$4{,}0 \times 10^{-12}$	$mol^3 \times L^{-3}$	11,4
Perak sulfida	Ag_2S	$1{,}6 \times 10^{-49}$	$mol^2 \times L^{-3}$	48,8
Raksa(I) klorida (kalomel)	Hg_2Cl_2	$2{,}0 \times 10^{-18}$	$mol^3 \times L^{-3}$	17,7
Raksa(II) sulfida (hitam)	HgS	$1{,}0 \times 10^{-52}$	$mol^2 \times L^{-2}$	52,0
Seng karbonat	$ZnCO_3$	$6{,}0 \times 10^{-11}$	$mol^2 \times L^{-2}$	10,2
Tembaga(I) klorida	CuCl	$1{,}0 \times 10^{-6}$	$mol^2 \times L^{-2}$	6,0
Tembaga(II) hidroksida	$Cu(OH)_2$	$5{,}6 \times 10^{-20}$	$mol^3 \times L^{-3}$	19,3
Tembaga(II) sulfida	CuS	$8{,}0 \times 10^{-45}$	$mol^2 \times L^{-2}$	44,1
Timbal (II) hidroksida	$Pb(OH)_2$	$2{,}8 \times 10^{-16}$	$mol^3 \times L^{-3}$	15,5
Timbal(II) iodida	PbI_2	$8{,}7 \times 10^{-9}$	$mol^3 \times L^{-3}$	8,1
Timbal(II) karbonat	$PbCO_3$	$3{,}3 \times 10^{-14}$	$mol^2 \times L^{-2}$	13,5
Timbal(II) klorida	$PbCl_2$	$2{,}0 \times 10^{-5}$	$mol^3 \times L^{-3}$	4,7
Timbal(II) sulfat	$PbSO_4$	$1{,}5 \times 10^{-8}$	$mol^2 \times L^{-2}$	7,8
Timbal(II) sulfida	PbS	$3{,}4 \times 10^{-28}$	$mol^2 \times L^{-2}$	27,5

Deret Potensial Elektrode Unsur-unsur Logam

Potensial elektrode standar ($^{\circ}E$) diukur pada 25°C dan 101,3 kPa (1 atm)

Reaksi Oksidator + Ze^- ⟶ Reduktor	Pasangan Redoks	Potensial Elektode Standar (E°) dalam Volt
$Li^+(aq) + e^- \rightleftharpoons Li(s)$	Li^+/Li	-3,04
$K^+(aq) + e^- \rightleftharpoons K(s)$	K^+/K	-2,92
$Ba^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Ba(s)$	Ba^{2+}/Ba	-2,90
$Ca^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Ca(s)$	Ca^{2+}/Ca	-2,87
$Na^+(aq) + e^- \rightleftharpoons Na(s)$	Na^+/Na	-2,71
$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Mg(s)$	Mg^{2+}/Mg	-2,36
$Be^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Be(s)$	Be^{2+}/Be	-1,85
$Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons Al(s)$	Al^{3+}/Al	-1,66
$Ti^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons Ti(s)$	Ti^{3+}/Ti	-1,21
$Mn^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Mn(s)$	Mn^{2+}/Mn	-1,18
$V^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons V(s)$	V^{2+}/V	-1,17
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Zn(s)$	Zn^{2+}/Zn	-0,76
$Cr^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons Cr(s)$	Cr^{3+}/Cr	-0,74
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Fe(s)$	Fe^{2+}/Fe	-0,41
$Cd^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cd(s)$	Cd^{2+}/Cd	-0,40
$Co^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Co(s)$	Co^{2+}/Co	-0,28
$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Ni(s)$	Ni^{2+}/Ni	-0,23
$Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Sn(s)$	Sn^{2+}/Sn	-0,14
$Pb^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Pb(s)$	Pb^{2+}/Pb	-0,13
$Fe^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons Fe(s)$	Fe^{3+}/Fe	-0,02
$2H_3O^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons H_2(g) + 2H_2O(l)$	$2H_3O^+/H_2$	0,00 (pH = 0)
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$	Cu^{2+}/Cu	+0,35
$Cu^+(aq) + e^- \rightleftharpoons Cu(s)$	Cu^+/Cu	+0,52
$Hg_2^{2+}(aq) + 2e \rightleftharpoons 2Hg(l)$	Hg_2^{2+}/Hg	+0,79
$Ag^+(aq) + e^- \rightleftharpoons Ag(s)$	Ag^+/Ag	+0,80
$Hg^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Hg(l)$	Hg^{2+}/Hg	+0,85
$Pt^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Pt(s)$	Pt^{2+}/Pt	+1,20
$Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightleftharpoons Au(s)$	Au^{3+}/Au	+1,50
$Au^+(aq) + e^- \rightleftharpoons Au(s)$	Au^+/Au	+1,70

Bentuk zat: s = zat padat; l = zat cair; g = zat gas

Deret Potensial Elektrode untuk Beberapa Reaksi Redoks

Potensial standar diukur pada 25°C dan 101,3 kPa (1 atm)

Reaksi Oksidator + Ze^- ⇌ Reduktor	Potensial Elektode Standar (E°) dalam Volt
$2H_2O(l) + 2e^- \rightleftharpoons H_2(g) + 2OH^-(aq)$	-0,83* (pH = 14)
$Cd(OH)_2(s) + 2e^- \rightleftharpoons Cd(s) + 2OH^-(aq)$	-0,82* (pH = 14)
$2CO_2(g) + 2e^- \rightleftharpoons C_2O_4^{2-}(aq)$	-0,49
$2H_3O^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons H_2(g) + 2H_2O(l)$	-0,41* (pH = 7)
$Cr^{3+}(aq) + e^- \rightleftharpoons Cr^{2+}(aq)$	-0,41
$PbSO_4(s) + 2e^- \rightleftharpoons Pb(s) + SO_4^{2-}(aq)$	-0,36
$CO_2(g) + 2H_3O^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons HCOOH(l) + 2H_2O(l)$	-0,20* (pH = 0)
$HCOOH(l) + 2H_3O^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons HCHO(g) + 3H_2O(l)$	+0,06* (pH = 0)
$2H_3O^+(aq) + S(s) + 2e^- \rightleftharpoons H_2S(g) + 2H_2O(l)$	+0,14
$Cu^{2+}(aq) + e^- \rightleftharpoons Cu^+(aq)$	+0,17
$AgCl(s) + e^- \rightleftharpoons Ag(s) + Cl^-(aq)$	+0,22
$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^-(aq)$	+0,40* (pH = 14)
$AsO_4^{3-}(aq) + 2H_3O^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons AsO_3^{3-}(aq) + 3H_2O(l)$	+0,56* (pH = 0)
$MnO_4^-(aq) + H_2O(l) + 3e^- \rightleftharpoons MnO_2(l) + 2H_2O(l)$	+0,59* (pH = 14)
$O_2(g) + 2H_3O^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons H_2O_2(l) + 2H_2O(l)$	+0,68* (pH = 0)
$Fe^{3+}(aq) + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}(aq)$	+0,77
$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^-(aq)$	+0,82* (pH = 7)
$NO_3^-(aq) + 4H_3O^+(aq) + 3e^- \rightleftharpoons NO(g) + 6H_2O(l)$	+0,96* (pH = 0)
$O_2(g) + 4H_3O^+(l) + 4e^- \rightleftharpoons 6H_2O(l)$	+1,23* (pH = 0)
$MnO_2(s) + 4H_3O^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Mn^{2+}(aq) + 6H_2O(l)$	+1,23* (pH = 0)
$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14H_3O^+(aq) + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+}(aq) + 21H_2O(l)$	+1,33* (pH = 0)
$PbO_2(s) + 4H_3O^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 6H_2O(l)$	+1,46* (pH = 0)
$MnO_4^{2-}(aq) + 8H_3O^+(aq) + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+}(aq) + 12H_2O(l)$	+1,51* (pH = 0)
$PbO_2(s) + 4H_3O^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons PbSO_4(s) + 6H_2O(l)$	+1,69* (pH = 0)
$H_2O_2(l) + 2H_3O^+ + 2e^- \rightleftharpoons 4H_2O(l)$	+1,77* (pH = 0)
$S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 2SO_4^{2-}(aq)$	+2,01
$O_3(g) + 2H_3O^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons O_2(g) + 3H_2O(l)$	+2,07

Nilai E°_{sel} yang tergantung pada pH; *s* (*solid*) zat padat; *l* = (*liquid*) zat cair; *g* = zat gas; *aq* = (*aqueous*) larut dalam air.

Deret Potensial Elektrode Unsur-unsur Nonlogam/Metalloid

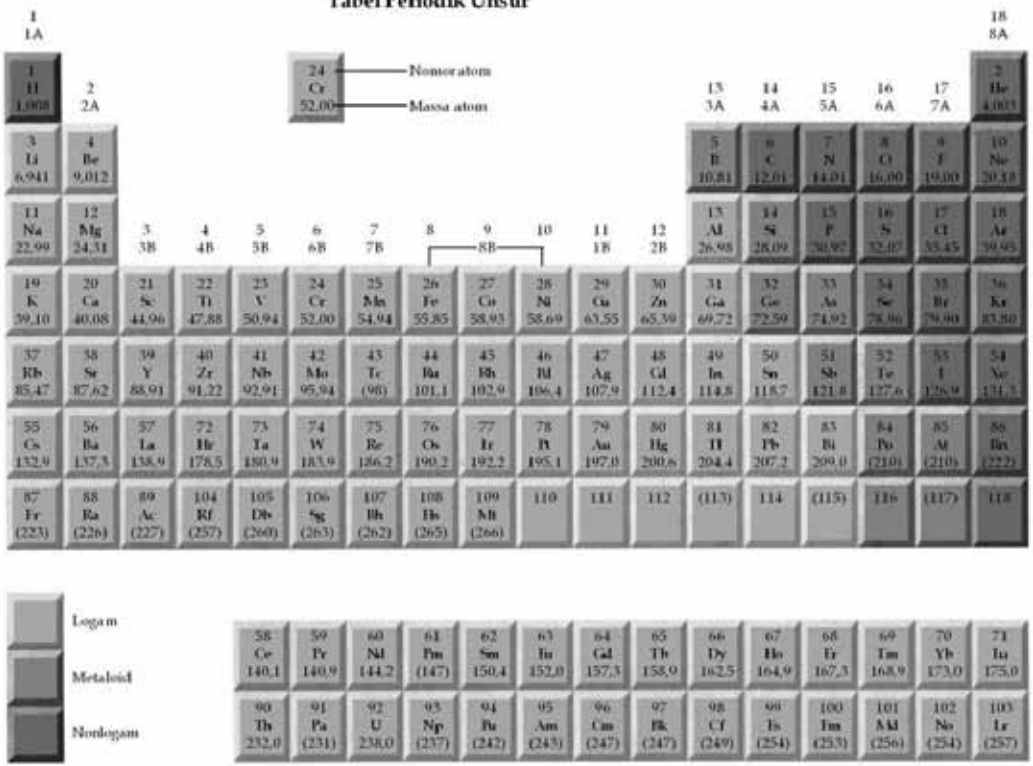
Potensial standar diukur pada 25°C dan 101,3 kPa (1 atm)

Reaksi Oksidator + Ze^- ⟶ Reduktor	Pasangan Redoks	Potensial Elektode Standar (E°) dalam Volt
$Se(s) + 2e^- \rightleftharpoons Se^{2-}(aq)$	Se/Se^{2-}	–0,92
$S(s) + 2e^- \rightleftharpoons S^{2-}(aq)$	S/S^{2-}	–0,48
$I_2(s) + 2e^- \rightleftharpoons 2I^-(aq)$	$I_2/2I^-$	+0,54
$Br_2(l) + 2e^- \rightleftharpoons 2Br^-(aq)$	$Br_2/2Br^-$	+1,07
$Cl_2(g) + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-(aq)$	$Cl_2/2Cl^-$	+1,36
$F_2(g) + 2e^- \rightleftharpoons 2F^-(aq)$	$F_2/2F^-$	+2,87

Konstanta Fisika dan Kimia

Satuan massa atom	$1\ sma = 1{,}6605402 \times 10^{-27}\ kg$ $6{,}0221367 \times 10^{23}\ sma = 1\ g$
Bilangan Avogadro	$N = 6{,}0221367 \times 10^{23}\ mol^{-1}$
Konstanta Boltzmann	$k = 1{,}38066 \times 10^{-23}\ J\ K^{-1}$
Massa diam elektron	$m_e = 5{,}485799 \times 10^{-4}\ sma$ $= 9{,}1093897 \times 10^{-28}\ g$
Muatan elektron	$e = 1{,}60217733 \times 10^{-19}\ C$
Tetapan Faraday	$F = 9{,}6485309 \times 10^{4}\ C\ mol^{-1}$
Konstanta gas	$R = 8{,}31452\ J\ K^{-1}\ mol^{-1}$ $= 0{,}0820579\ L\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1}$
Massa diam neutron	$m_n = 1{,}00866\ sma$ $= 1{,}67495 \times 10^{-24}\ g$
Pi	$\pi = 3{,}1415926536$
Tetapan Planck	$h = 6{,}6260755 \times 1^{-34}\ J\ s$
Massa diam proton	$m_p = 1{,}0072765\ sma$ $= 1{,}672623 \times 10^{-24}\ g$
Kecepatan cahaya	$c = 2{,}997925 \times 10^{8}\ m\ s^{-1}$

Tabel Periodik Unsur



Kunci Latihan

Bab I. Sifat Koligatif Larutan

A. Pilihan Ganda

1. D 3. C 5. C 6. C 9. B

B. Esei

1. $m = 0{,}045$
2. $V = 3.903$ L
4. Kanan

Bab II. Reaksi Redoks dan Elektrokimia

A. Pilihan Ganda

1. C 3. E 5. C 7. B 10. E

B. Esei

1. a. $4H^+ + NO_3^- + 3Ag \rightarrow 3Ag^+ + NO + 2H_2O$
   c. $3H_2O + I^- + 3Cl_2 \rightarrow IO_3^- + 6Cl^- + 6H^+$
3. a. Tidak spontan
   b. Spontan
4. c. Katode : $Ni^{2+}(aq) + 2e \rightarrow Ni(s)$
   Anode : $2H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + O_2(g) + 4e$

   $2Ni^{2+}(aq) + 2H_2O(l) \rightarrow 2Ni(s) + 4H^+(aq) + O_2(g)$
5. 2

Bab III. Kimia Unsur

A. Pilihan Ganda

1. C 3. A 5. A 7. E 10. B

B. Esei

1. Semakin ke bawah energi ionisasi semakin kecil
3. Untuk menurunkan titik leleh Al_2O_3
5. 512 gram

Latihan Semester I

A. Pilihan Ganda

2. E 4. E 7. A 8. B 10. C 12. A 14. B

B. Esei

1. $C_6H_4N_2O_4$
3. Terbentuk sel elektrokimia dengan besi sebagai anode dan tembaga sebagai katode yang akan menghasilkan karat besi
5. a. $^{81}_{35}X$ b. $^{54}_{25}X$ c. $^{4}_{2}He$

Bab IV. Senyawa Turunan Alkana

A. Pilihan Ganda

1. E 3. C 5. C 7. D 9. A

B. Esei

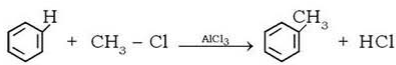
1. a. $CH_3 - \mathbf{OH}$
   c. $CH_3 - CH_2 - \mathbf{COH}$
   f. $CH_3 - CH_2 - \mathbf{Cl}$
3. a. Keisomeran kerangka
   b. Keisomeran gugus fungsi
   c. Keisomeran geometris
5. a. $CH_3 - CH_2 - \overset{O}{\overset{\|}{C}}H_2Cl \xrightarrow{NaOH} CH_3 - \overset{O}{\overset{\|}{C}}H = CH_2 + HCl$
   c. $R - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O - R' + H_2O \rightarrow R - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - OH + ROH$
   f. $CH_3 - CH_2 - OH + Na \rightarrow CH_3 - CH_2 - ONa + \frac{1}{2}H_2$

Bab V. Benzena dan Turunannya

A. Pilihan Ganda

1. D 3. C 5. E 7. C 9. D

B. Esei

1. a. 

3. a. Sifat fisik: zat cair yang mudah menguap dan tidak berwarna
   b. Sifat kimia: zat beracun, kurang reaktif, tetapi mudah terbakar

Bab VI. Makromolekul

A. Pilihan Ganda

1. E 3. C 5. A 7. B 9. B

B. Esei

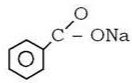
1. Sampah plastik sulit diuraikan mikroorganisme
3. a. Protein serat berupa susunan rantai polipeptida dalam suatu lembaran yang panjang, sedangkan protein globular berupa rantai polipeptida yang berlipat dengan rapat sehingga menjadi bentuk bulat atau globular yang kompak
5. a. $H_2C - OH$
   $HC - OH + 3NaC_{17}H_{35}COO$ (reaksi penyabunan)
   $H_2C - OH$

Latihan Semester II

A. Pilihan Ganda

1. B 3. E 5. C 6. E 9. D 11. D 13. E 15. A

B. Esei

2. a.  untuk pengawet

   b.  untuk pengharum (kapur barus)

   c.  untuk disinfektan

4. Gugus –COOH bersifat asam dan gugus NH_2 bersifat basa, sehingga dapat bereaksi dengan asam maupun basa.

Latihan Akhir Tahun

A. Pilihan Ganda

1. E 3. B 5. A 7. C 9. A 11. C 13. C 15. D 17. D
19. D

B. Esei

2. Larutan NaCl 0,9% isotonik dengan sel darah merah
4. a. $2MnO_4^- + H_2O + 3CN^- \rightarrow 2MnO_2 + 2OH^- + 3CNO^-$
5. Belerang
7. a. Fenol untuk antiseptik dan bahan baku pembuatan plastik
   b. Asam benzoat untuk pengawet
   c. Nitrobenzena untuk peledak, bahan pembuatan zat warna, dan anilina
9. a. Laktosa
   b. Laktosa → glukosa + galaktosa

Catatan:

Catatan:

Aktif Belajar

Kimia

Untuk SMA & MA

Kelas XII

ISBN 978-979-068-733-2 (no. jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-736-3

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) Rp15.266,--