KIMIA

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI

2022

SMA/MA KELAS XI

Hak Cipta pada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia
Dilindungi Undang-Undang

Penafian: Buku ini disiapkan oleh Pemerintah dalam rangka pemenuhan kebutuhan buku pendidikan yang bermutu, murah, dan merata sesuai dengan amanat dalam UU No. 3 Tahun 2017. Buku ini disusun dan ditelaah oleh berbagai pihak di bawah koordinasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. Buku ini merupakan dokumen hidup yang senantiasa diperbaiki, diperbarui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan yang dialamatkan kepada penulis atau melalui alamat surel buku@kemdikbud.go.id diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

Kimia untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis
Munasprianto Ramli
Nanda Saridewi
Tiktik Mustika Budhi
Aang Suhendar

Penelaah
Roto
Sri Mulyani

Penyelia/Penyelaras
Supriyatno
Lenny Puspita Ekawaty
Anggraeni Dian Permatasari
Galuh Ayu Mungkashi

Kontributor
Henny Eka Kristina S.
Muhamad Syahrul

Ilustrator
Arief Firdaus
Felia Febriany Gunawan

Editor
Harris Syamsi Yulianto

Desainer
Harris Syamsi Yulianto

Penerbit
Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi

Dikeluarkan oleh:
Pusat Perbukuan
Kompleks Kemdikbudristek Jalan RS. Fatmawati, Cipete, Jakarta Selatan
https://buku.kemdikbud.go.id

Cetakan pertama, 2022
ISBN 978-602-427-922-6 (no.jil.lengkap)
ISBN 978-602-427-923-3 (jil.1)

Isi buku ini menggunakan huruf Noto Serif 10pt, Apache License.
xiv, 226 hlm.: 17,6 x 25 cm.

Kata Pengantar

Pusat Perbukuan; Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan; Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi memiliki tugas dan fungsi mengembangkan buku pendidikan pada satuan Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah, termasuk Pendidikan Khusus. Buku yang dikembangkan saat ini mengacu pada Kurikulum Merdeka. Kurikulum ini memberikan keleluasaan bagi satuan/program pendidikan dalam mengimplementasikan kurikulum dengan prinsip diversifikasi sesuai dengan kondisi satuan pendidikan, potensi daerah, dan peserta didik.

Pemerintah dalam hal ini Pusat Perbukuan mendukung implementasi Kurikulum Merdeka di satuan pendidikan dengan mengembangkan buku siswa dan buku panduan guru sebagai buku teks utama. Buku ini dapat menjadi salah satu referensi atau inspirasi sumber belajar yang dapat dimodifikasi, dijadikan contoh, atau rujukan dalam merancang dan mengembangkan pembelajaran sesuai karakteristik, potensi, dan kebutuhan peserta didik.

Adapun acuan penyusunan buku teks utama adalah Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran yang ditetapkan melalui Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi No. 262/M/2022 Tentang Perubahan atas Keputusan Mendikbudristek No. 56/M/2022 Tentang Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran, serta Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Nomor 033/H/KR/2022 tentang Perubahan Atas Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022 tentang Capaian Pembelajaran pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah pada Kurikulum Merdeka.

Sebagai dokumen hidup, buku ini tentu dapat diperbaiki dan disesuaikan dengan kebutuhan dan perkembangan keilmuan dan teknologi. Oleh karena itu, saran dan masukan dari para guru, peserta didik, orang tua, dan masyarakat sangat dibutuhkan untuk pengembangan buku ini di masa yang akan datang. Pada kesempatan ini, Pusat Perbukuan menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan buku ini, mulai dari penulis, penelaah, editor, ilustrator, desainer, dan kontributor terkait lainnya. Semoga buku ini dapat bermanfaat khususnya bagi peserta didik dan guru dalam meningkatkan mutu pembelajaran.

Jakarta, Desember 2022
Kepala Pusat,

Supriyatno
NIP 196804051988121001

Prakata

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas izin dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan buku Kimia Kelas XI. Buku ini digunakan oleh peserta didik kelas XI jenjang SMA/MA sebagai buku teks dan diharapkan menjadi sumber belajar utama. Buku ini terdiri atas tujuh bab yang disusun sedemikian rupa sehingga dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih menyenangkan. Fitur setiap bab cukup lengkap, mulai dari peta konsep, komik kimia, hingga berbagai aktivitas dan latihan soal yang beragam,

Materi tiap bab ditulis menyesuaikan dengan perkembangan zaman dan teknologi. Setiap bab mengulas keterkaitan ilmu kimia dengan kehidupan sehari-hari sehingga mendekatkan pembelajaran kimia dengan keseharian peserta didik. Buku ini juga dikembangkan sesuai dengan Capaian Pembelajaran Fase F yang dilengkapi dengan panduan-panduan percobaan yang bisa dilakukan di sekolah. Dengan mempelajari buku ini diharapkan peserta didik dapat mengembangkan wawasan keilmuan dalam bidang kimia sesuai dengan perkembangan dan kebutuhan peserta didik.

Penulis berharap buku ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan pendidikan di Indonesia, khususnya pendidikan kimia. Penulis juga menyadari sepenuhnya kalau buku ini belum sempurna sehingga berharap masukan dari pembaca untuk penyempurnaan isi buku pada masa yang akan datang.

Jakarta, Desember 2022

Tim Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar iii
Prakata iv
Daftar Isi v
Daftar Gambar vii
Daftar Tabel x
Petunjuk Penggunaan Buku xi

Bab I Struktur Atom dan Sistem Periodik Unsur 1
A. Struktur Atom 4
B. Teori Atom Mekanika Kuantum 10
C. Sistem Periodik Unsur 15
D. Sifat Periodik Unsur 19

Bab II Ikatan Kimia 31
A. Dasar Ikatan Kimia 33
B. Ikatan Ion 36
C. Ikatan Kovalen 38
D. Ikatan logam 44
E. Bentuk Molekul 46
F. Ikatan Antarmolekul 53

Bab III Stoikiometri 63
A. Pengertian Stoikiometri 66
B. Konsep Mol 68
C. Rumus Molekul dan Rumus Empiris 70
D. Pereaksi Pembatas 74
E. Persen Hasil 79
F. Persen Kemurnian 81

Bab IV Hidrokarbon 89
A. Kekhasan Atom Karbon 92
B. Klasifikasi Hidrokarbon 97

C. Alkana 99
D. Alkena dan Alkuna 104
E. Hidrokarbon Aromatik 106
F. Sifat Fisis dan Kimia Hidrokarbon 107
G. Isomer pada Hidrokarbon 110
H. Dampak Pembakaran Hidrokarbon 113

Bab V Termokimia 119
A. Hukum Kekekalan Energi 122
B. Sistem dan Lingkungan 124
C. Reaksi Eksotermik dan Endotermik 125
D. Kalorimetri 127
E. Entalpi dan Perubahan Entalpi 129
F. Persamaan Termokimia 134
G. Perubahan Entalpi dalam Keadaan Standar 136
H. Hukum Hess 140
I. Energi Ikatan 145

Bab VI Kinetika Kimia 155
A. Teori Tumbukan 157
B. Laju Reaksi 159
C. Persamaan Laju Reaksi dan Orde Reaksi 165
D. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Laju Reaksi 167

Bab VII Kesetimbangan Kimia 185
A. Konsep Kesetimbangan Kimia 188
B. Tetapan Kesetimbangan 192
C. Menggunakan Tetapan Kesetimbangan dalam Perhitungan 196
D. Pergeseran Kesetimbangan 200
E. Kesetimbangan Kimia dalam Dunia Industri 204

Glosarium 211
Daftar Pustaka 215
Daftar Kredit Gambar 215
Indeks 216
Profil Pelaku Perbukuan 219

Daftar Gambar

Gambar 1.1 Matahari menyinari bumi 3
Gambar 1.2 Partikel dasar penyusun atom 4
Gambar 1.3 Tabung katode yang terdapat pada perangkat televisi 4
Gambar 1.4 (a) Sinar katode merambat lurus, (b) sinar katode dibelokkan oleh medan magnet dan listrik. 5
Gambar 1.5 Model atom Thomson 6
Gambar 1.6 Aliran sinar katode dan sinar kanal 6
Gambar 1.7 Percobaan Rutherford 7
Gambar 1.8 Model atom Bohr 9
Gambar 1.9 Spin atau arah putar elektron 12
Gambar 1.10 Skema urutan pengisian elektron pada orbital atom 13
Gambar 1.11 Contoh penggunaan kaidah Hund 14
Gambar 1.12 Sistem periodik unsur bentuk panjang 16
Gambar 1.13 Reaksi logam alkali (dari kiri ke kanan: litium, natrium, dan kalium) dengan air 19
Gambar 1.14 Jari-jari atom litium, natrium, dan kalium 19
Gambar 1.15 Warna-warni nyala kembang api 20
Gambar 1.16 Kecenderungan energi ionisasi pertama dalam sistem periodik unsur 21
Gambar 1.17 Afinitas elektron unsur golongan A 23
Gambar 1.18 Keelektronegatifan unsur golongan A 24
Gambar 1.19 Panel surya sebagai sumber energi listrik di rumah 26
Gambar 2.1 Garam dapur dan logam natrium 33
Gambar 2.2 Konfigurasi elektron atom Ne (2 8) 34
Gambar 2.3 Proses pengeringan garam 36
Gambar 2.4 Proses pembentukan ikatan ion 37
Gambar 2.5 Senyawa ion pecah ketika dipukul. 38
Gambar 2.6 Ikatan kovalen pada H_2O 38
Gambar 2.7 Ikatan kovalen tunggal HCl, ikatan kovalen rangkap dua CO_2 dan ikatan kovalen rangkap tiga N_2 39
Gambar 2.8 Larutan H_2SO_4 pada aki 40
Gambar 2.9 Ikatan kovalen polar pada HCl 40

Gambar 2.10 Ikatan kovalen koordinasi pada molekul NH_3BF_3, HNO_3, dan SO_3 41
Gambar 2.11 Contoh simbol Lewis pada beberapa unsur 42
Gambar 2.12 Struktur Lewis BF_3 dan PF_5 42
Gambar 2.13 Teralis besi 44
Gambar 2.14 Inti atom dan lautan elektron pada ikatan logam 45
Gambar 2.15 Proses molekul obat diterima oleh molekul reseptor pada tubuh manusia. 46
Gambar 2.16 Bentuk molekul SCl_4 47
Gambar 2.17 Bentuk molekul CH_4 dan NH_3 dan sudut ikatannya 48
Gambar 2.18 Bentuk molekul H_2O dan XeF_2 49
Gambar 2.19 Struktur Lewis dan bentuk molekul CCl_4 50
Gambar 2.20 Struktur Lewis dan bentuk molekul SF_4 50
Gambar 2.21 Tabung penyimpanan oksigen cair dan orang bernapas dengan gas oksigen 54
Gambar 2.22 Dipol permanen pada molekul-molekul HBr 54
Gambar 2.23 Penggunaan H_2 pada mobil berbasis bahan bakar hidrogen (*fuel cell*) 55
Gambar 2.24 Oksigen dalam air 56
Gambar 2.25 Tren titik didih senyawa hibrida 56
Gambar 2.26 Ikatan hidrogen pada H_2O dan HF 57
Gambar 3.1 Resep kue pancong 65
Gambar 3.2 Jumlah bahan yang tersedia dalam membuat kue pancong 75
Gambar 4.1 Berbagai bahan bakar yang sering digunakan 91
Gambar 4.2 Berbagai representasi struktur metana 93
Gambar 4.3 Beberapa cara penulisan struktur senyawa 3-metilpentana 96
Gambar 4.4 Berbagai produk berbahan hidrokarbon 98
Gambar 4.5 Variasi penggambaran benzena 107
Gambar 4.6 Perbandingan efek rumah kaca alami dan pengaruh meningkatnya produksi karbon dioksida 114
Gambar 5.1 Mengatasi permasalahan sampah sebagai energi 121
Gambar 5.2 Pemanasan balon udara 122
Gambar 5.3 Kalorimeter bom dan kalorimeter sederhana 128
Gambar 5.4 Grafik perubahan entalpi reaksi eksotermik 130
Gambar 5.5 Grafik perubahan entalpi reaksi endotermik 131
Gambar 5.6 Diagram siklus pembentukan CO_2 142
Gambar 5.7 Diagram tingkat energi pembentukan CO_2 142
Gambar 6.1 Perkaratan besi dan pembakaran kayu 157

Gambar 6.2 Tumbukan molekul gas hidrogen dan gas klorin yang tidak efektif sehingga tidak menghasilkan reaksi.....158
Gambar 6.3 Tumbukan molekul gas hidrogen dan gas klorin yang efektif sehingga menghasilkan reaksi dan membentuk molekul baru.....158
Gambar 6.4 Grafik energi aktivasi 158
Gambar 6.5 Analogi energi aktivasi.....159
Gambar 6.6 Percobaan penentuan laju reaksi 159
Gambar 6.7 Grafik penambahan volume gas H_2 hasil reaksi 160
Gambar 6.8 Ilustrasi jumlah partikel zat sebelum dan sesudah reaksi.....162
Gambar 6.9 Grafik konsentrasi zat terhadap waktu 162
Gambar 6.10 Grafik orde reaksi nol.....166
Gambar 6.11 Grafik orde reaksi satu.....166
Gambar 6.12 Grafik orde reaksi dua.....166
Gambar 6.13 Api unggun 172
Gambar 6.14 Grafik energi aktivasi tanpa katalis (kurva hitam) dan dengan katalis (kurva biru) 178
Gambar 7.1 Beberapa kedudukan jungkat-jungkit 187
Gambar 7.2 Pemanasan padatan $CuSO_4.5H_2O$ menghasilkan $CuSO_4$.....189
Gambar 7.3 Pemberian air pada padatan $CuSO_4$ menghasilkan $CuSO_4.5H_2O$ kembali.....189
Gambar 7.4 Konsep kesetimbangan kimia 190
Gambar 7.5 Reaksi kesetimbangan antara ion Fe^{3+} dengan ion SCN^-.....201
Gambar 7.6 Pemanasan akan meningkatkan pembentukan $CuSO_4$.....202
Gambar 7.7 Pengaruh tekanan pada kesetimbangan N_2O_4 dan NO_2 203
Gambar 7.8 Diagram alur proses Haber-Bosch 205
Gambar 7.9 Produksi amonia di dunia pada 2021 dalam 1.000 metrik ton 206

Daftar Tabel

Tabel 1.1 Karakteristik partikel dasar penyusun atom 8
Tabel 1.2 Hubungan konfigurasi elektron dengan posisi unsur dalam golongan dan periode 17
Tabel 2.1 Bentuk Molekul Dasar 46
Tabel 3.1 Sepuluh senyawa alkana paling sederhana 99
Tabel 3.2 Struktur dan tata nama alkil yang paling umum 100
Tabel 3.3 Senyawa alkena dan alkuna sederhana 104
Tabel 5.2 Perubahan entalpi pembentukan standar dari beberapa senyawa 137
Tabel 5.3 Beberapa nilai energi ikatan rata-rata ($kJ.mol^{-1}$) 146
Tabel 6.1 Penambahan volume gas H_2 hasil reaksi 160

Petunjuk Penggunaan Buku

Kimia adalah salah bidang ilmu yang sangat dekat dengan kehidupan manusia. Kita bernapas menghirup oksigen, kita minum air untuk kelangsungan hidup. Oksigen dan air merupakan senyawa kimia. Semua produk dari ujung kaki sampai ujung kepala serta segala sesuatu di lingkungan sekitar melibatkan ilmu kimia. Melalui pembelajaran kimia, kalian akan diajak untuk berpetualang ke dunia materi, struktur, dan perubahannya.

Buku ini disusun dengan berbagai aktivitas belajar yang mengasah kreativitas, berpikir kritis, dan analitis. Kalian diajak untuk mengembangkan keterampilan proses, bekerja sama, dan berkomunikasi untuk memecahkan masalah kehidupan sehari-hari untuk menunjang pembangunan yang berkelanjutan.

Sebelum masuk pada materi pembelajaran, sebaiknya kalian ketahui terlebih dahulu bagian-bagian dari buku ini.



Sampul Bab

Berisi gambar yang terkait materi bab yang akan dipelajari disertai dengan tujuan mempelajari bab tersebut. Cobalah untuk memahami apa kaitan gambar tersebut terhadap judul bab yang akan kalian pelajari.

Mind Map

Berisikan pembagian topik utama suatu bab ke dalam sub-subtopik sebagai pemetaan pembelajaran yang akan kalian pelajari. Dengan demikian, hal ini akan membantu kalian memahami konsep suatu bab secara menyeluruh.



Komik Kimia



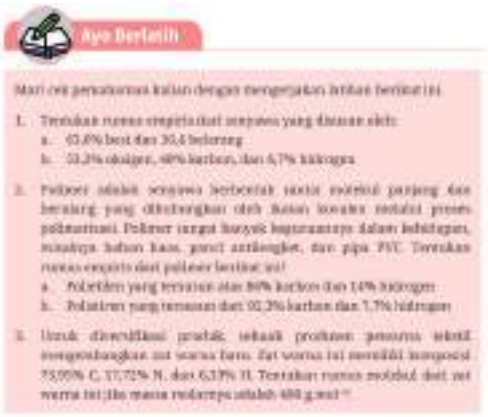
Komik Kimia

Berisi fenomena sehari-hari yang berkaitan dengan bab yang akan dipelajari. Melalui komik ini diharapkan dapat memancing rasa ingin tahu kalian untuk lebih mendalami isi materi bab ini.

Aktivitas

Berisikan beragam kegiatan yang dapat mendukung proses pembelajaran selain dari penyampaian materi oleh guru. Mulai dari kegiatan berdiskusi di dalam kelas hingga percobaan di laboratorium. Diharapkan kalian dapat berpartisipasi aktif dalam kegiatan tersebut.


Aktivitas 4.4



Ayo Berlatih

Berisi soal-soal latihan sesuai dengan subbab yang dipelajari. Soal-soal ini diharapkan dapat melatih kemampuan kalian dalam memahami konsep yang sudah dipelajari. Cobalah untuk menyelesaikannya seorang diri dan banyaklah berlatih. Apabila ada kesulitan mintalah petunjuk pada gurumu.



Pengayaan

Pada akhir bab kalian akan disajikan informasi tambahan terkait materi yang sudah dipelajari. Bagian ini tentu akan memperkaya wawasan kalian. Selain itu, cobalah untuk mencari informasi lebih jauh melalui internet atau sumber belajar lainnya.





Inti Sari

Berisi ringkasan materi pada tiap-tiap bab yang berbentuk narasi. Dengan membacanya diharapkan kalian dapat mengingat kembali apa saja yang sudah dipelajari, termasuk konsep-konsep yang perlu penekanan sebagai bekal dalam mempelajari bab selanjutnya.

Ayo Refleksi

Bagian ini mengajak kalian untuk berpikir secara mendalam terkait materi yang sudah dipelajari dan mengidentifikasi kekurangannya, manfaat, dan sikap kalian setelah mempelajari materi tersebut. Sebaiknya kalian menyampaikan hal-hal yang menurut kalian masih sulit dipahami sebelum beralih pada bab selanjutnya.





Ayo Cek Pemahaman

Pada akhir bab, kalian akan disajikan berbagai pertanyaan terkait materi pada bab tersebut. Pertanyaan-pertanyaan tersebut dimunculkan dalam berbagai variasi soal, tidak hanya untuk mengakses pengetahuan, tetapi juga kemampuan literasi sains dan numerasi kalian. Banyaklah berlatih dari sumber buku lain agar kalian lebih siap dalam menghadapi ujian kelak.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022
Kimia untuk SMA/MA Kelas XI
Penulis : Munasprianto Ramli, dkk.
ISBN : 978-602-427-923-3 (jil.1)

Bab I

Struktur Atom dan Sistem Periodik Unsur

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menggambarkan struktur atom berdasarkan hasil analisis perkembangan model atom, menentukan bilangan kuantum elektron dalam suatu atom, menyusun konfigurasi elektron dan menentukan kedudukannya dalam sistem periodik unsur, serta menganalisis keperiodikan sifat unsur dan hubungannya dengan kereaktifan unsur.

Mind Map



Komik Kimia





Gambar 1.1 Matahari menyinari bumi

Sumber: Larisa-K/pixabay.com (2014)

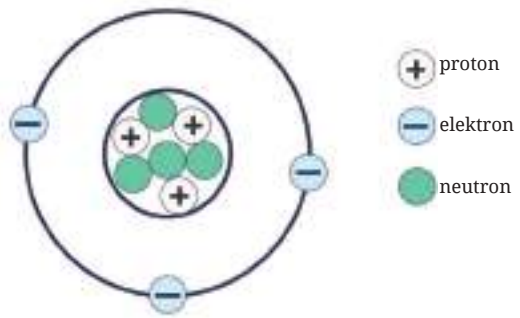
Apakah hari ini cuacanya cerah dan matahari bersinar dengan hangat? Kita perlu bersyukur sampai dengan hari ini matahari masih bersinar. Makhluk hidup sangat membutuhkan matahari untuk kelangsungan hidup, contohnya tumbuhan hijau, memerlukan matahari untuk fotosintesis. Tumbuhan hijau adalah produsen pada rantai makanan, penyedia bahan makanan bagi hewan dan manusia. Salah satu manfaat sinar matahari pagi bagi manusia adalah dapat memicu sintesis vitamin D dalam tubuh secara alami. Terbentuknya vitamin D secara alami dipercaya dapat meningkatkan kekebalan tubuh. Namun, dalam kuantitas yang berlebih, matahari juga memiliki efek negatif bagi tubuh. Beberapa efek negatif dari sinar matahari, antara lain kulit terbakar, penuaan dini, dan kanker kulit.

Dari manakah asal sumber energi matahari? Materi apa yang terdapat di dalam matahari? Hidrogen merupakan unsur terbesar yang terdapat di dalam matahari. Setelahnya terdapat unsur helium. Empat atom hidrogen akan membentuk satu atom helium. Massa unsur helium lebih besar dibandingkan hidrogen, sehingga helium menyumbangkan massa terberat pada matahari meskipun kelimpahannya lebih sedikit dibandingkan hidrogen. Bagaimana kalian mengetahui nomor atom dan nomor massa dari unsur hidrogen dan helium?

A. Struktur Atom

Menurut kalian, apakah kata "peralatan elektronik" berasal dari kata elektron? Siapa penemu elektron dan bagaimana elektron ditemukan?

Tahun 1807, John Dalton menyatakan atom sebagai partikel terkecil penyusun suatu materi. Atom tidak dapat dibagi lagi, tidak dapat diciptakan, dan tidak dapat dimusnahkan. Atom dalam suatu unsur memiliki sifat yang sama dalam segala hal (ukuran, bentuk, dan massa). Namun, menurut teori atom modern, atom dipecah lagi menjadi partikel-partikel dasar, yaitu proton, neutron, dan elektron, seperti terlihat pada Gambar 1.2.

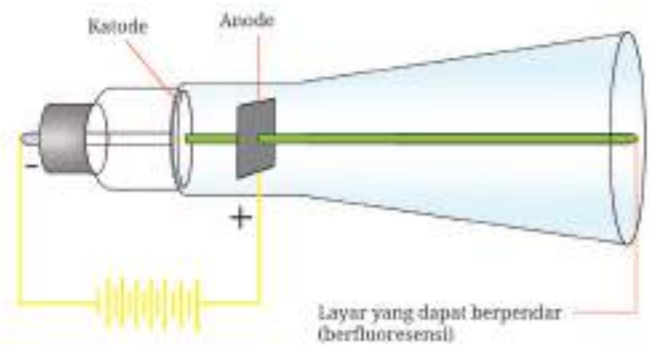


Gambar 1.2 Partikel dasar penyusun atom

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

1. Elektron

Keberadaan elektron dalam atom dapat dijelaskan melalui ilustrasi tabung katode yang terdapat pada perangkat televisi berikut.

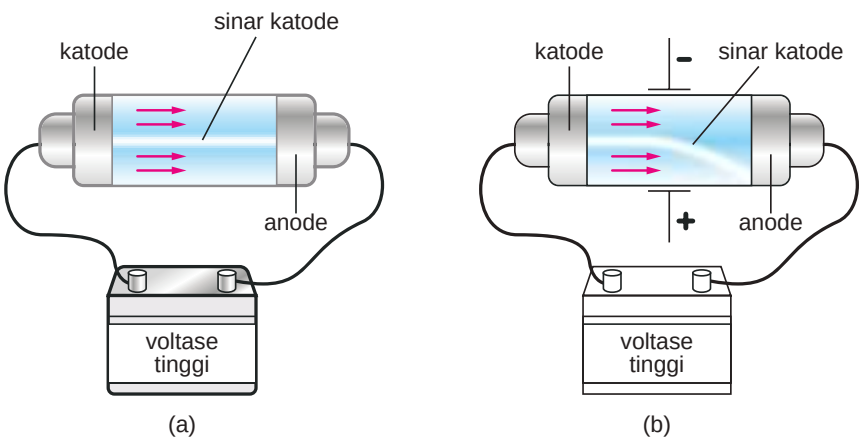


Gambar 1.3 Tabung katode yang terdapat pada perangkat televisi

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

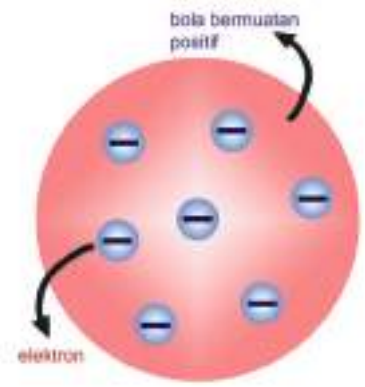
Tabung katode merupakan salah satu perangkat pada televisi yang berfungsi menghasilkan pencitraan gambar dan suara. Sinar katode menjadi sebuah dasar penemuan elektron yang kali pertama ditemukan oleh Karl Braun. Tabung sinar katode berupa tabung hampa dari kaca. Di dalamnya terdapat anode sebagai kutub positif dan katode sebagai kutub negatif. Saat tabung katode diberi aliran listrik, terjadi aliran radiasi yang tidak terlihat dari kutub negatif ke kutub positif.

Lebih lanjut, pada tahun 1879, William Crookes menyempurnakan penemuan sinar katode. W. Crookes menemukan bahwa sifat sinar katode tidak dipengaruhi oleh jenis kawat yang digunakan, jenis gas dalam tabung, dan bahan yang digunakan dalam menghasilkan arus listrik. Sinar katode juga merambat lurus dari kutub negatif ke kutub positif, serta dapat dibelokkan oleh medan magnet dan listrik, seperti tampak pada gambar berikut.



Gambar 1.4 (a) Sinar katode merambat lurus, (b) sinar katode dibelokkan oleh medan magnet dan listrik.

Penemuan elektron ini lebih lanjut dikembangkan oleh Joseph Thomson. Thomson menemukan bahwa materi yang terdapat pada sinar katode sangatlah kecil. Sinar katode merupakan partikel penyusun atom yang memiliki muatan negatif. Namun, atom bermuatan netral, sehingga menurut Thomson atom terdiri atas partikel yang bermuatan positif dan negatif. Atom dianggap sebagai bola pejal yang bermuatan positif dengan partikel bermuatan negatif yang tersebar di dalamnya. Model atom yang dikemukakan Thomson dikenal dengan roti kismis, seperti terlihat pada Gambar 1.5.

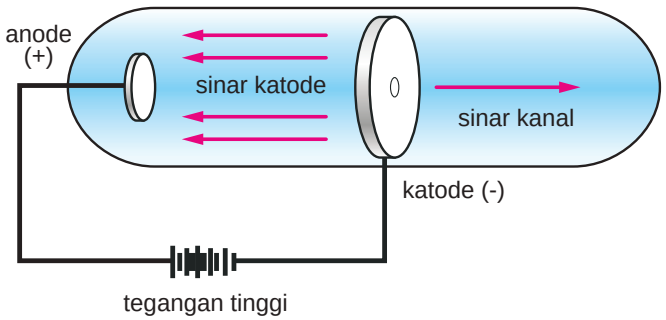


Gambar 1.5 Model atom Thomson

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

2. Proton

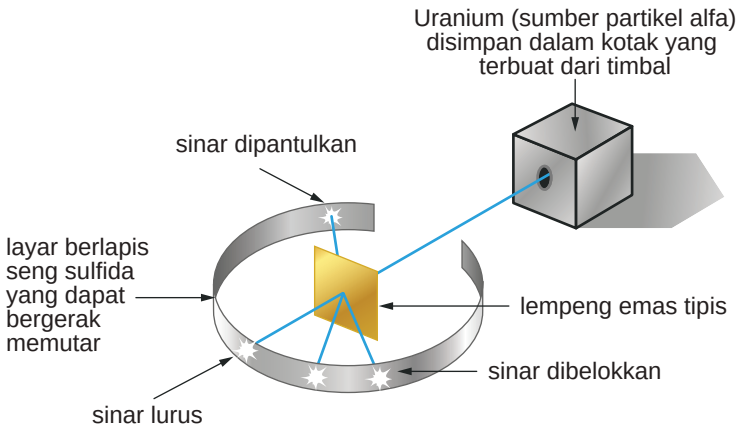
Proton kali pertama pertama ditemukan oleh Eugene Goldstein melalui penemuan sinar kanal. Sinar kanal adalah sinar yang memiliki arah yang berlawanan dengan sinar katode. Ketika katode dilubangi, ada sinar yang melewati lubang tersebut pada arah yang berlawanan dengan sinar katode, seperti terlihat pada Gambar 1.6. Lebih lanjut, Wilhelm Wien menemukan bahwa sinar kanal tersebut bermuatan positif yang kemudian disebut dengan proton.



Gambar 1.6 Aliran sinar katode dan sinar kanal

Posisi proton di dalam atom dijelaskan melalui percobaaan yang dilakukan oleh Ernest Rutherford. Rutherford menembakkan partikel alfa ke lempeng emas tipis, seperti yang terlihat pada Gambar 1.7. Dari percobaan tersebut, ditemukan sebagian besar sinar diteruskan (sinar lurus). Hal ini menunjukkan

bahwa bagian dalam atom sebagian besar berupa ruang hampa, bukan bola pejal yang bermuatan positif seperti yang dijelaskan oleh Thomson. Adanya sebagian kecil sinar yang dibelokkan dan dipantulkan dapat menggambarkan bahwa di dalam atom terdapat inti bermuatan positif yang sangat kecil dan dikelilingi elektron bermuatan negatif.



Gambar 1.7 Percobaan Rutherford

3. Neutron

Penemuan neutron bermula saat Rutherford meyakini bahwa ada materi lain di dalam atom. Bermula dari adanya perbedaan massa atom hidrogen dan helium. Rutherford menemukan bahwa perbandingan massa hidrogen dan helium adalah 1 : 4, sementara perbandingan jumlah protonnya 1 : 2. Rutherford melakukan percobaan menggunakan partikel alfa yang ditembakkan ke logam boron. Logam boron menghasilkan radiasi, tetapi tidak dibelokkan oleh medan magnet maupun medan listrik. Artinya, radiasi tersebut merupakan materi penyusun atom yang tidak bermuatan positif maupun negatif. Rutherford menyatakan bahwa materi tersebut adalah neutron.

Jadi, dalam ketiga percobaan yang telah dijabarkan, diketahui bahwa ada tiga partikel penyusun sebuah atom, yaitu elektron, proton, dan neutron. Karakteristik ketiga partikel penyusun atom tersebut terangkum dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Karakteristik partikel dasar penyusun atom

Partikel dasar	Massa		Muatan	
	Sesungguhnya (gram)	Relatif (sma)	Sesungguhnya (coulomb)	Relatif (sma)
Elektron (e)	$9{,}1096 \times 10^{-28}$	0	$1{,}6 \times 10^{-19}$	–1
Proton (p)	$1{,}6726 \times 10^{-24}$	1	$1{,}6 \times 10^{-19}$	+1
Neutron (n)	$1{,}6750 \times 10^{-24}$	1	0	0

4. Notasi atom

Pernahkah kalian mendengar tentang penemuan artefak? Bagaimana cara peneliti menentukan umur artefak tersebut? Artefak dapat ditentukan umurnya menggunakan isotop. Isotop akan dijelaskan pada materi notasi atom. Seperti yang telah dipelajari pada pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam kelas X, bahwa notasi atom terdiri atas lambang unsur, nomor massa, dan nomor atom. Notasi atom adalah identitas sebuah atom yang membedakan atom unsur yang satu dengan atom unsur lainnya.

Apakah ada dua unsur atau lebih dapat memiliki nomor atom yang sama? Nomor atom menunjukkan jumlah proton dan elektron. Karena atom tidak bermuatan maka jumlah proton sama dengan elektron. Proton merupakan penyusun inti sebuah atom suatu unsur. Jumlah proton dalam sebuah atom berbeda dengan atom unsur lainnya. Jadi, nomor atom adalah identitas utama sebuah unsur.

Nomor massa merupakan jumlah proton ditambah neutron. Ada atom-atom dari unsur yang sama memiliki nomor massa yang berbeda. Artinya, atom-atom tersebut memiliki nomor atom yang sama, tetapi nomor massanya berbeda. Atom-atom ini disebut dengan **isotop**. Contoh isotop adalah karbon dengan nomor massa 12 (^{12}C) dan nomor massa 14 (^{14}C). Nomor atomnya sama, yaitu 6, karena unsurnya sama, yaitu karbon. Isotop ^{14}C biasanya digunakan sebagai pendeteksi umur fosil dan artefak.

Atom-atom unsur yang memiliki nomor massa yang sama, tetapi nomor atomnya berbeda disebut dengan **isobar**. Contoh isobar adalah $^{40}_{19}K$ dan $^{40}_{20}Ar$. Unsur kalium dan argon memiliki nomor massa yang sama, yaitu 40. Sementara unsur yang memiliki jumlah neutron yang sama disebut dengan **isoton**, contohnya $^{23}_{11}Na$ dan $^{24}_{12}Mg$. Natrium dan magnesium memiliki jumlah neutron yang sama, yaitu 12.

5. Tingkat energi

Model atom Rutherford memiliki kelemahan dalam menjelaskan posisi elektron pada atom. Tahun 1913, Niels Bohr melakukan percobaan untuk memperbaiki kelemahan model atom Rutherford tersebut. Bohr menggabungkan teori Rutherford dan hipotesis Planck yang dikenal dengan Postulat Bohr. Bohr menemukan bahwa setiap unsur memberikan spektrum garis yang berbeda dan bersifat khas. Bohr mengemukakan empat postulat, yaitu:

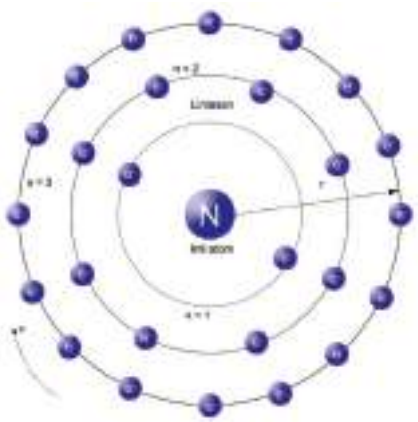
a. Elektron mengelilingi inti atom dalam orbit tertentu. Orbit merupakan lintasan gerak stasioner elektron dalam mengelilingi inti dengan jarak tertentu. Setiap lintasan yang dipakai oleh elektron diberikan nomor 1, 2, 3, dan seterusnya. Lintasan ini juga menyatakan jumlah kulit atom atau **tingkat energi**.
b. Energi elektron tetap selama berada di dalam lintasannya.
c. Elektron hanya dapat berpindah dari satu lintasan ke lintasan lainnya, serta menyerap dan melepaskan energi sesuai konstanta Planck:

$$\Delta E = h.v$$

ΔE = energi (J)
h = konstanta Planck ($6{,}63 \times 10^{-34}$ J.detik^{-1})
v = frekuensi (hertz atau detik^{-1})

Tingkat energi dari lintasan satu dibanding lintasan yang lainnya dapat dilihat pada Gambar 1.8.

d. Lintasan elektron memiliki momentum sudut.



Gambar 1.8 Model atom Bohr

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

Elektron-elektron akan menempati kulit pertama (K) sampai penuh (2 elektron), kemudian mengisi kulit L (8 elektron), dan seterusnya (Gambar 1.8). Jumlah elektron yang menempati kulit terluar disebut dengan **elektron valensi**. Namun, model atom Bohr memiliki kelemahan, yakni tidak dapat menjelaskan efek Zeeman. Efek Zeeman menjelaskan pembelahan garis spektrum menjadi dua komponen atau lebih yang berbeda frekuensi ketika atom berada dalam medan magnet. Meskipun begitu, teori Bohr dipakai sebagai acuan oleh para ilmuwan dan melahirkan teori atom modern, yaitu teori mekanika kuantum.



Ayo Berlatih

1. Bagaimana Rutherford membuktikan adanya neutron pada atom?
2. Bagaimana model atom Bohr menjelaskan posisi elektron dalam suatu atom?

B. Teori Atom Mekanika Kuantum

Teori atom modern merupakan pengembangan dari teori atom Bohr. Model ini ditemukan oleh beberapa ilmuwan, yaitu Louis de Broglie, Wolfgang Pauli, Erwin Schrödinger, dan Werner Heisenberg. Louis de Broglie pada tahun 1924 menyatakan bahwa partikel kecil mempunyai sifat yang berbeda dengan benda besar. Cahaya dan partikel-partikel kecil selain dapat bersifat sebagai materi, dapat pula bersifat sebagai gelombang. Sifat ini dikenal dengan dualisme partikel gelombang.

Model atom mekanika kuantum memiliki kriteria sebagai berikut.

1. Lintasan atomnya tidak stasioner seperti model atom Bohr. Hal ini karena gerakan elektron memiliki sifat gelombang.
2. Bentuk dan ukuran orbital (ruang dengan peluang tinggi untuk ditemukannya elektron dalam suatu atom) bergantung pada harga bilangan kuantumnya (*dibahas setelah ini).*
3. Posisi elektron yang berhasil ditemukan oleh Bohr berjarak 0,529 angstrom dari inti hidrogen bukan berarti sesuatu yang pasti, tetapi merupakan kebolehjadian ditemukannya elektron.

1. Bilangan kuantum

Posisi elektron merupakan dasar penentuan struktur atom. Posisi elektron dapat digambarkan melalui model atom mekanika kuantum yang dikenal dengan bilangan kuantum. Bilangan kuantum terdiri atas:

a. Bilangan kuantum utama (*n*)

Bilangan kuantum utama menyatakan kulit tempat elektron berada atau tingkat energi elektron dalam suatu atom. Orbital dengan bilangan kuantum berbeda memiliki tingkat energi yang berbeda pula.

1) Kulit K, bilangan kuantum (n) = 1
2) Kulit L, bilangan kuantum (n) = 2
3) Kulit M, bilangan kuantum (n) = 3
4) dan seterusnya

b. Bilangan kuantum azimut (*l*)

Bilangan kuantum azimut menyatakan subkulit atau orbital. Bilangan kuantum azimut biasa dinyatakan dalam *sharp* (*s*), *principal* (*p*), *diffuse* (*d*), dan *fundamental* (*f*). Harga bilangan kuantum azimut dikaitkan dengan bilangan kuantum utama. Harga bilangan kuantum azimut dalam sebuah kulit bernilai 0 hingga (n – 1).

1) Bilangan kuantum azimut (l) = 0, subkulit *s*
2) Bilangan kuantum azimut (l) = 1, subkulit *p*
3) Bilangan kuantum azimut (l) = 2, subkulit *d*
4) Bilangan kuantum azimut (l) = 3, subkulit *f*

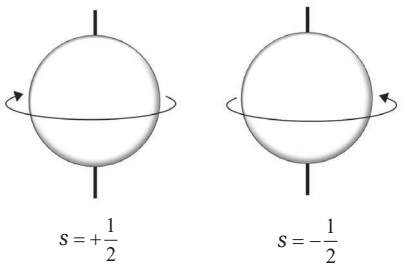
c. Bilangan kuantum magnetik (*m*)

Bilangan kuantum magnetik menyatakan orientasi orbital. Harga bilangan kuantum magnetik bergantung pada bilangan kuantum azimut. Bilangan kuantum magnetik bernilai $-l$ hingga $+l$ (termasuk 0). Pada kulit K dengan bilangan kuantum azimut l = 0, maka bilangan kuantum magnetiknya m = 0, artinya orientasi orbital *s* hanya 1. Sementara bilangan kuantum azimut l = 1 pada kulit L, memiliki tiga orientasi orbital, yaitu m = –1, m = 0, dan m= +1 (p_x, p_y, dan p_z).

1) l = 0 maka m = 0
2) l = 1 maka m = –1, 0, +1
3) l = 2 maka m = –2, –1, 0, +1, +2
4) dan seterusnya

d. Bilangan kuantum spin (*s*)

Bilangan kuantum spin menyatakan arah putar elektron terhadap sumbunya saat elektron mengelilingi inti atom. Bilangan kuantum spin dilambangkan dengan *s*, di mana nilai *s* = +½ dan *s* = –½. Arah putar elektron searah jarum jam dan berlawanan jarum, seperti yang terlihat pada Gambar 1.9.



Gambar 1.9 Spin atau arah putar elektron

2. Konfigurasi elektron

Bohr menjelaskan bahwa inti atom dikelilingi oleh elektron. Elektron-elektron tersebut bergerak dalam lintasan-lintasan yang disebut dengan tingkat energi. Setiap tingkat energi hanya boleh ditempati maksimum $2n^2$ elektron. Untuk menjelaskan penempatan elektron dalam setiap tingkat energi tersebut maka digunakan konfigurasi elektron. Konfigurasi elektron yang disusun berdasarkan model atom mekanika kuantum harus mengikuti tiga aturan, yaitu:

a. Asas larangan Pauli

Wolfgang Pauli pada tahun 1926 mengungkapkan bahwa tidak ada dua buah elektron dalam orbital yang sama memiliki keempat bilangan kuantum yang sama. Aturan ini dikenal dengan asas larangan Pauli. Jumlah elektron yang menempati sebuah orbital paling banyak dua yang arahnya berlawanan.

Contoh:

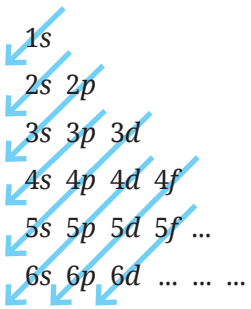
 tidak diizinkan

 tidak diizinkan

 diizinkan

b. Aturan Aufbau

Elektron-elektron cenderung menempati orbital pada tingkat energi terendah. Aturan pengisian dimulai pada energi terendah ini dikenal dengan aturan Aufbau. Pengisian elektron dalam orbital dimulai dari orbital dengan tingkat energi paling rendah. Setelah penuh, pengisian berlanjut ke tingkat energi yang lebih tinggi, begitu seterusnya. Pola ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1.10 Skema urutan pengisian elektron pada orbital atom

Contoh:
Konfigurasi elektron untuk atom $_{23}$V dan $_{33}$As
$_{23}$V : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^3$
$_{33}$As : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^3$

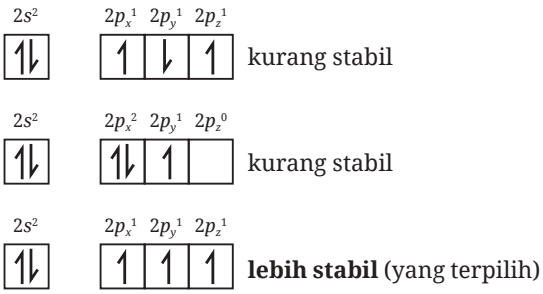
c. Kaidah Hund

Friedrich Hund pada tahun 1927 menyatakan bahwa elektron-elektron yang berada di suatu orbital menempati orbital yang kosong dengan arah rotasi sejajar. Setelah semua orbital tersebut terisi satu elektron, elektron-elektron lainnya menempati orbital tersebut dengan arah rotasi yang berlawanan.

Aturan hanya berlaku bila ada alternatif pengisian, yaitu orbital *p*, *d*, dan *f* yang tidak terisi penuh, sedangkan orbital yang penuh tidak boleh melanggar asas larangan Pauli. Contoh, $_7$N dengan konfigurasi elektron $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$, elektron valensinya $2s^2\ 2p^3$. Susunan yang lebih stabil terlihat pada Gambar 1.11.

$_7$N: [He] $2s^2\ 2p^3$

Diagram orbitalnya:



Gambar 1.11 Contoh penggunaan kaidah Hund

Pemahaman tentang konfigurasi elektron suatu atom dan bilangan kuantum dapat digunakan untuk menentukan kebolehjadian menemukan posisi tiap-tiap elektron dalam suatu atom. Pahami contohnya berikut ini.

Contoh

Tentukan bilangan kuantum elektron terakhir $_3$Li dan $_9$F!

1. Konfigurasi elektron unsur $_3$Li: $1s^2\ 2s^1$
   Elektron terakhir unsur Li berada pada orbital $2s^1$.
   Harga keempat bilangan kuantumnya adalah:
   n = 2 (pada kulit L)
   l = 0 (pada subkulit s)
   m = 0 (subkulit s hanya memiliki 1 orientasi)
   s = +½ (arah spin ke atas/searah jarum jam)

2. Konfigurasi elektron unsur $_9$F: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$
   Elektron terakhir unsur F berada pada orbital $2p^5$.
   Harga keempat bilangan kuantumnya adalah:
   n = 2 (pada kulit L)
   l = 1 (pada subkulit p)
   m = 0 (pada orientasi p_y)
   s = –½ (arah spin ke bawah/berlawanan arah jarum jam)

Ayo Berlatih

Tentukan empat bilangan kuantum elektron terakhir pada atom unsur $_{17}Cl$ dan $_{12}Mg$!

C. Sistem Periodik Unsur

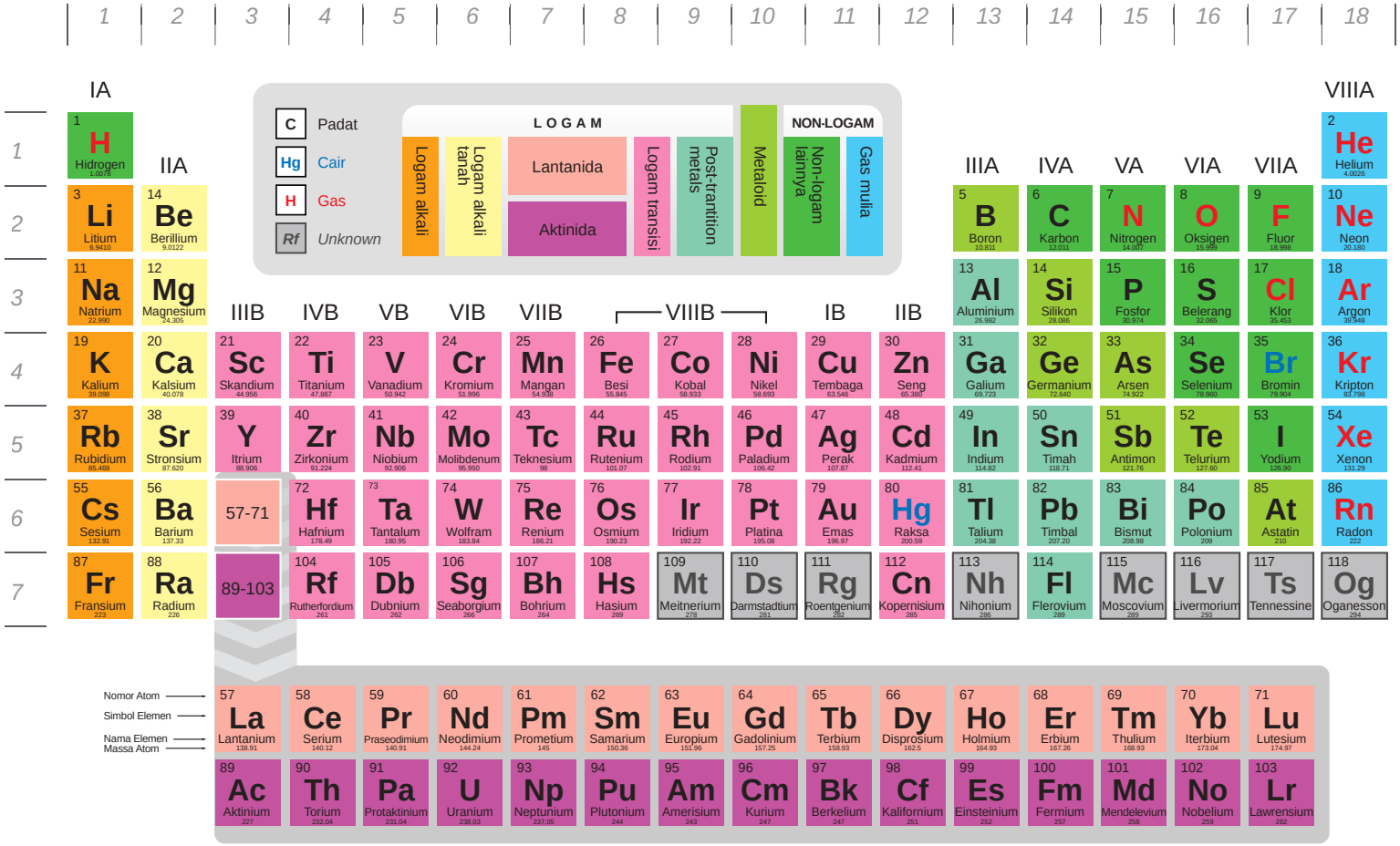
1. Perkembangan sistem periodik unsur

Unsur-unsur yang sudah ditemukan harus disusun dan dikelompokkan dengan baik. Pada tahun 1829, Johann Döbereiner menyusun unsur berdasarkan massa atomnya. Döbereiner membuat kelompok unsur yang terdiri atas tiga unsur. Susunan ini dikenal dengan triade Döbereiner. Massa unsur di tengah merupakan hasil rata-rata penjumlahan kedua massa unsur di sebelah kiri dan kanannya. Setiap kelompok tiga unsur ini memiliki kemiripan sifat.

Teori Döbereiner memiliki kelemahan, yakni tidak dapat menjelaskan hubungan sifat satu triade dengan triade lainnya. Pada tahun 1865, John Newlands menemukan bahwa unsur yang disusun berdasarkan kenaikan massa atomnya akan memiliki kemiripan sifat setelah atom kedelapan. Jadi, unsur kesatu sifatnya mirip dengan unsur kedelapan, unsur kedua mirip dengan unsur kesembilan, dan seterusnya. Pola ini dikenal dengan teori oktaf.

Teori Döbereiner dan oktaf hanya menitikberatkan pada sifat fisika unsur. Pada tahun 1869, Dimitri Mendeleev menyusun unsur-unsur berdasarkan kemiripan sifat fisika dan kimianya. Susunan ini dikenal dengan sistem periodik unsur bentuk pendek. Sifat unsur disusun berdasarkan kenaikan massa atom. Namun, sistem periodik bentuk pendek ini memiliki kelemahan, yaitu adanya unsur yang disusun tidak sesuai dengan urutan massa atomnya. Contohnya, unsur argon (Ar) dengan massa atom 39,9 ditempatkan sebelum unsur kalium (K) yang memiliki massa atom 39,1.

Kesalahan sistem periodik bentuk pendek diperbaiki oleh Moseley. Unsur-unsur tidak disusun berdasarkan kenaikan nomor massa, melainkan nomor atom. Susunan inilah yang dipakai hingga sekarang dan disebut dengan sistem periodik unsur modern. Susunan ini juga dikenal dengan sistem periodik unsur bentuk panjang. Hal ini karena terdapat periode pada lajur mendatar dan golongan pada lajur tegak, seperti terlihat pada Gambar 1.12.



Gambar 1.12 Sistem periodik unsur bentuk panjang

2. Hubungan konfigurasi elektron dengan sistem periodik unsur

Penulisan konfigurasi elektron dapat ditulis menurut aturan Aufbau (bentuk panjang) atau dalam bentuk pendek. Konfigurasi elektron bentuk pendek dari suatu unsur dimulai dengan penulisan unsur gas mulia yang nilai konfigurasi lebih kecil dari jumlah elektron unsur tersebut, lalu diikuti dengan jumlah elektron yang tersisa.

Contoh:
Konfigurasi elektron untuk atom $_{26}Fe$

$_{26}Fe : \underbrace{1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6}_{\text{Konfigurasi elektron atom Ar}}\ 4s^2\ 3d^6$, bentuk pendeknya [Ar] $4s^2\ 3d^6$

Konfigurasi elektron akan menentukan posisi unsur dalam golongan dan periode pada sistem periodik unsur, seperti yang terlihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Hubungan konfigurasi elektron dengan posisi unsur dalam golongan dan periode

Konfigurasi elektron	Posisi unsur pada sistem periodik	
	Golongan	Periode
ns^1	IA	n
ns^2	IIA	n
$ns^2\ np^1$	IIIA	n
$ns^2\ np^2$	IVA	n
$ns^2\ np^3$	VA	n
$ns^2\ np^4$	VIA	n
$ns^2\ np^5$	VIIA	n
$ns^2\ np^6$	VIIIA	n

Konfigurasi elektron	Posisi unsur pada sistem periodik	
	Golongan	Periode
$ns^2\ (n-1)d^1$	IIIB	n
$ns^2\ (n-1)d^2$	IVB	n
$ns^2\ (n-1)d^3$	VB	n
$ns^2\ (n-1)d^4$	VIB	n
$ns^2\ (n-1)d^5$	VIIB	n
$ns^2\ (n-1)d^6$	VIIIB	n
$ns^2\ (n-1)d^7$	VIIIB	n
$ns^2\ (n-1)d^8$	VIIIB	n
$ns^1\ (n-1)d^{10}$	IB	n
$ns^2\ (n-1)d^{10}$	IB	n

Contoh

Tentukan posisi unsur $_{11}Na$, $_{6}C$, $_{54}Xe$, dan $_{30}Zn$ di dalam sistem periodik unsur!

Jawab:

1. $_{11}Na$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$
   $_{11}Na$: [Ne] $3s^1$
   Berakhir pada orbital *ns*, berarti golongan A.
   $3s^1$ (1) = golongan IA
   n = 3 (periode 3)

2. $_{6}C$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$
   $_{6}C$: [He] $2s^2\ 2p^2$
   Berakhir pada orbital *ns np*, berarti golongan A.
   $2s^2\ 2p^2$ (2 + 2 = 4) = golongan IVA
   n = 2 (periode 2)

3. $_{54}Xe$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^6$
   Berakhir pada orbital *ns np*, berarti golongan A.
   $5s^2\ 5p^6$ (2 + 6 = 8) = golongan VIIIA
   n = 5 (periode 5)

4. $_{30}Zn$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}$
   $_{30}Zn$: [Ar] $4s^2\ 3d^{10}$
   Berakhir pada orbital *ns* $(n-1)d$, berarti golongan B.
   $4s^2\ 3d^{10}$ (2 + 10 = 12) = golongan IIB
   n = 4 (periode 4)

Ayo Berlatih

Tentukan posisi unsur di bawah ini pada sistem periodik unsur.

1. $_{20}Ca$
2. $_{35}Br$
3. $_{22}Ti$
4. $_{26}Fe$

D. Sifat Periodik Unsur

Penyusunan unsur-unsur dalam sistem periodik unsur modern berkaitan erat dengan sifat-sifat atom. Kesamaan sifat atom maupun perubahan sifatnya dapat dikaitkan dengan letaknya dalam periode atau golongan. Berikut ini sifat-sifat atom berdasarkan posisinya dalam sistem periodik unsur.

1. Jari-jari atom

Kalium menghasilkan ledakan yang lebih besar dibandingkan natrium dan litium saat logam tersebut dimasukkan ke dalam air, seperti yang terlihat pada Gambar 1.13. Mengapa hal ini dapat terjadi?



Gambar 1.13 Reaksi logam alkali (dari kiri ke kanan: litium, natrium, dan kalium) dengan air

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

Unsur kalium, natrium, dan litium berada dalam satu golongan, yakni golongan alkali (IA). Kalium berada paling bawah dari ketiga unsur tersebut dan memiliki jari-jari yang lebih besar dibandingkan unsur di atasnya (Gambar 1.14).



Gambar 1.14 Jari-jari atom litium, natrium, dan kalium

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

Seperti yang telah dipelajari pada materi IPA kelas X, jari-jari atom adalah jarak inti atom dengan kulit terluar. Dalam satu golongan, dari atas ke bawah, jumlah kulit semakin bertambah sehingga jarak inti atom dengan kulit terluarnya semakin besar. Sementara dalam satu periode, dari kiri ke kanan, jumlah kulitnya sama, tetapi jumlah protonnya semakin bertambah. Hal ini menyebabkan semakin besar gaya tarik-menarik elektron terluarnya ke inti atom yang bermuatan positif sehingga terjadi penciutan kulit. Akibatnya, jari-jari atomnya mengecil.

Kalium memiliki jari-jari yang lebih besar, elektron terluarnya berada lebih jauh dari inti atom. Gaya tarik-menarik elektron terluarnya dengan inti atom lebih lemah sehingga lebih mudah lepas. Hal ini yang menyebabkan kalium lebih reaktif dibandingkan dengan natrium dan litium.

2. Energi ionisasi

Setiap pergantian tahun, masyarakat gemar membakar kembang api. Warna-warni pada kembang api menambah kemeriahan malam sehingga menarik untuk dinikmati. Mengapa kembang api ketika dibakar dapat menghasilkan nyala yang berwarna-warni? Setelah mempelajari materi ini, kalian akan bisa menjelaskan hal tersebut.



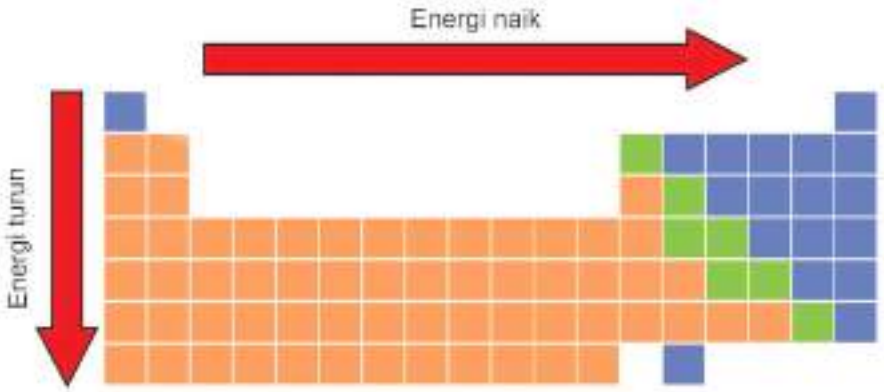
Gambar 1.15 Warna-warni nyala kembang api

Sumber: Nick/pixabay.com (2017)

Warna nyala api dapat dijelaskan menggunakan energi ionisasi. Energi ionisasi adalah energi yang dibutuhkan oleh satu atom netral dalam fase gas untuk melepaskan satu elektronnya. Energi ionisasi pertama adalah energi yang dibutuhkan oleh satu atom untuk melepaskan satu elektronnya, sedangkan energi ionisasi kedua adalah energi yang dibutuhkan untuk melepaskan satu elektron keduanya, begitu seterusnya.

$Li(g) \longrightarrow Li^+(g) + e^-$ (energi ionisasi pertama)
$Mg(g) \longrightarrow Mg^+(g) + e^-$ (energi ionisasi pertama)
$Mg^+(g) \longrightarrow Mg^{2+}(g) + e^-$ (energi ionisasi kedua)

Perbedaan energi yang dibutuhkan oleh suatu unsur untuk melepaskan satu elektronnya akan memberikan perbedaan warna nyala yang dihasilkan unsur tersebut. Unsur dengan energi ionisasi lebih rendah dapat memancarkan cahaya pada daerah sinar tampak ketika diberikan api bunsen. Namun, unsur dengan energi ionisasi yang lebih tinggi memerlukan suhu yang lebih tinggi pula (tidak bisa dengan api bunsen saja) untuk menghasilkan nyala dan memiliki cahaya pada daerah ultraviolet. Kembang api biasanya terdiri atas beberapa unsur logam. Ketika dibakar, setiap logam akan memancarkan cahaya sesuai dengan energi ionisasinya. Hal inilah yang menyebabkan warna-warni pada nyala kembang api.



Gambar 1.16 Kecenderungan energi ionisasi pertama dalam sistem periodik unsur

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

Mengapa energi ionisasi unsur semakin besar dalam satu periode (dari kiri ke kanan) dan semakin kecil dalam satu golongan (dari atas ke bawah), seperti pada Gambar 1.16? Dalam satu periode, semakin ke kanan, jari-jari atom semakin kecil. Gaya tarik-menarik inti atom dengan elektron

terluarnya semakin kuat sehingga elektron terluarnya sulit untuk lepas yang menyebabkan energi ionisasinya semakin besar. Hal sebaliknya dalam satu golongan, dari atas ke bawah, jari-jari atom semakin besar. Jarak inti atom dengan elektron terluarnya semakin jauh sehingga gaya tarik-menariknya menjadi lebih lemah yang menyebabkan elektron terluarnya mudah lepas sehingga energi ionisasinya menjadi semakin kecil.

Energi ionisasi menunjukkan kecenderungan untuk membentuk kation (ion positif). Semakin kecil energi ionisasinya maka semakin mudah suatu atom untuk membentuk kation. Unsur logam cenderung memiliki energi ionisasi yang lebih kecil daripada unsur nonlogam sehingga lebih cenderung untuk melepaskan elektron membentuk kation. Hal sebaliknya terjadi pada unsur nonlogam, cenderung lebih susah untuk melepaskan elektron.



Aktivitas 1.1

Uji nyala

Bahan dan alat:

Hati-hati dalam menggunakan bahan kimia!

1. Garam NaCl
2. Garam KNO_3
3. Garam $CuSO_4$
4. Garam $CaCO_3$
5. Garam $MgSO_4$
6. Alkohol
7. Bunsen (satu buah)
8. Kawat nikrom (satu buah)

Langkah kerja:

1. Celupkan kawat nikrom ke dalam alkohol.
2. Ambil sedikit garam dan letakkan di ujung kawat.
3. Bakar garam tersebut di api bunsen.
4. Amati warna nyala yang terlihat.
5. Catatlah hasil pengamatan kalian di dalam buku latihan.

No.	Nama logam	Warna nyala
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Pertanyaan:

1. Temukan nilai energi ionisasi logam natrium, kalium, tembaga, kalsium, dan magnesium!
2. Bagaimana hubungan nilai energi ionisasi terhadap warna nyala yang dihasilkan?

3. Afinitas elektron

Pada uraian mengenai energi ionisasi diketahui bahwa unsur golongan nonlogam memiliki energi ionisasi yang lebih besar dibandingkan unsur logam sehingga lebih sulit melepaskan elektron valensinya. Unsur nonlogam lebih cenderung untuk menerima elektron dibandingkan melepaskan elektron.

Afinitas elektron menyatakan perubahan energi yang dihasilkan saat suatu atom dalam keadaan gas menerima satu elektron membentuk anion (ion negatif). Afinitas elektron menjadi sebuah ukuran mudah atau tidaknya suatu atom dalam menerima elektron. Semakin besar perubahan energi yang dihasilkan, semakin besar pula kecenderungan atom menarik elektron membentuk anion. Unsur golongan halogen (VIIA) memiliki afinitas yang paling besar dibanding golongan A lainnya, seperti terlihat pada gambar berikut.

H –73							He > 0
Li –60	Be > 0	B –27	C –122	N > 0	O –141	F –328	Ne > 0
Na –53	Mg > 0	Al –43	Si –134	P –72	S –200	Cl –249	Ar > 0
K –48	Ca –2	Ga –30	Ge –119	As –78	Se –195	Br –325	Kr > 0
Rb –47	Sr –5	In –30	Sn –107	Sb –103	Te –190	I –295	Xe > 0
IA	**IIA**	**IIIA**	**IVA**	**VA**	**VIA**	**VIIA**	**VIIIA**

Gambar 1.17 Afinitas elektron unsur golongan A

4. Keelektronegatifan

Selama pandemi kita diwajibkan untuk selalu menjaga kebersihan diri dan lingkungan. Penggunaan pembersih atau disinfektan pada ruangan, lantai, dinding, permukaan perabot, bahkan gagang pintu merupakan salah satu cara untuk mengantisipasi penularan virus Covid-19. Klorin merupakan salah satu unsur penyusun bahan disinfektan yang banyak digunakan. Mengapa klorin dapat digunakan untuk menghancurkan virus dan bakteri?

H 2,1							He
Li 1,0	Be 1,5	B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0	Ne
Na 0,9	Mg 1,2	Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0	Ar
K 0,8	Ca 1,0	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8	Kr 3,0
Rb 0,8	Sr 1,0	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5	Xe 2,6
Cs 0,7	Ba 0,9	Tl 1,8	Pb 1,8	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2	Rn 2,4
Fr 0,7	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
IA							

Gambar 1.18 Keelektronegatifan unsur golongan A

Klorin merupakan unsur golongan halogen yang memiliki keelektronegatifan yang tinggi, seperti terlihat pada data di Gambar 1.18. **Keelektronegatifan** merupakan suatu ukuran yang menunjukkan kemampuan suatu atom untuk menarik elektron ke arah atomnya untuk membentuk ikatan kimia. Semakin tinggi nilai keelektronegatifannya maka semakin mudah atom tersebut menerima elektron. Unsur halogen cenderung untuk menerima elektron membentuk anion. Hal ini menyebabkan unsur halogen lebih mudah tereduksi (berkurangnya bilangan oksidasi, dari 0 menjadi –1) dan bersifat sebagai oksidator kuat (mengoksidasi atom lain). Sifat oksidator inilah yang menyebabkan klorin dapat mengoksidasi virus dan bakteri sehingga jaringannya rusak dan mati atau hancur.

Aktivitas 1.2

Reaksi unsur halogen

Bahan dan alat:

Hati-hati dalam menggunakan bahan kimia!

1. $Fe_2(SO_4)_3$ 0,1 M
2. NaCl 0,1 M
3. NaBr 0,1 M
4. KI 0,1 M
5. Tabung reaksi (tiga buah)
6. Pipet tetes (tiga buah)

Langkah kerja:

1. Ambil 3 tabung reaksi dan masukkan 10 tetes larutan $Fe_2(SO_4)_3$ 0,1 M ke dalam masing-masing tabung reaksi.
2. Tambahkan 10 tetes larutan NaCl 0,1 M ke dalam tabung 1.
3. Tambahkan 10 tetes larutan NaBr 0,1 M ke dalam tabung 2.
4. Tambahkan 10 tetes larutan KI 0,1 M ke dalam tabung 3.
5. Bandingkan warna dari masing-masing tabung.
6. Cermati perubahan yang terjadi pada setiap tabung reaksi, catat di dalam buku latihan.

Pertanyaan:

1. Manakah larutan garam yang lebih mudah bereaksi dengan larutan $Fe(SO_4)_3$?
2. Bagaimana hubungan keelektronegatifan unsur halogen (Cl, Br, dan I) terhadap reaksi yang terjadi pada larutan NaCl, NaBr, dan KI?

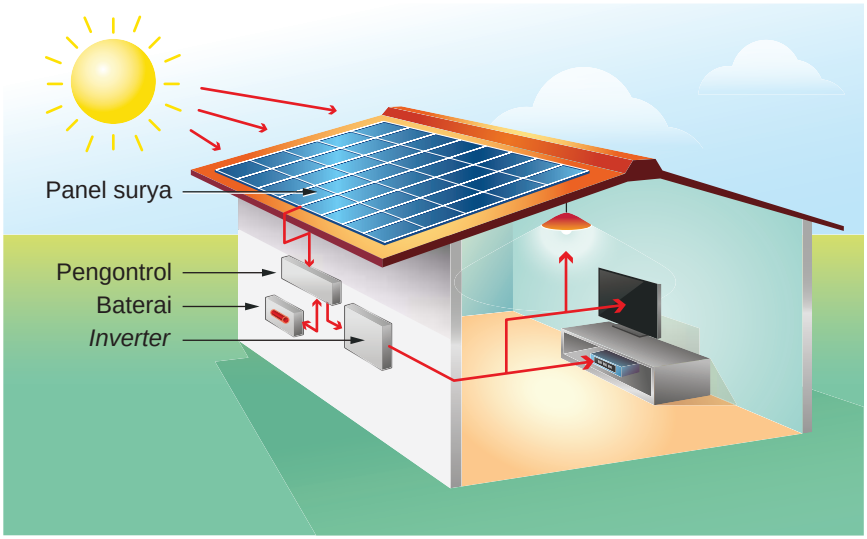
Ayo Berlatih

1. Mengapa unsur-unsur logam golongan IA lebih mudah membentuk kation?
2. Bagaimanakah kecenderungan kereaktifan unsur-unsur halogen dalam satu golongan (dari atas ke bawah)?

Pengayaan

Mengapa matahari masih bersinar hingga sekarang?

Matahari masih tetap bersinar karena terjadi reaksi penggabungan hidrogen membentuk helium sehingga menghasilkan pancaran cahaya. Hidrogen merupakan unsur penyusun matahari terbesar yang mencapai 91,2%. Kelimpahan gas hidrogen pada matahari merupakan sumber energi bagi kehidupan di bumi. Salah satu manfaat adanya hidrogen pada matahari adalah sebagai sumber energi alternatif dalam bentuk sel surya. Gambar 1.18 memperlihatkan contoh panel surya sebagai sumber energi listrik di rumah.



Gambar 1.19 Panel surya sebagai sumber energi listrik di rumah

Hidrogen juga menjadi sumber bahan bakar dalam teknologi berbasis elektrokimia. Bahan bakar ini tanpa emisi dengan keberadaan yang sangat melimpah. Selain di matahari, hidrogen dapat dihasilkan dari reaksi logam alkali dan alkali tanah dengan air. Luasnya perairan yang ada di Indonesia sangat memungkinkan tersimpan cadangan hidrogen di bawah laut Indonesia yang demikian banyak.

Salah satu contoh reaksi logam alkali litium dengan air:

$$Li(s) + H_2O(l) \longrightarrow LiOH(aq) + H_2(g)$$

Ketika logam direaksikan dengan H_2O akan menghasilkan produk berupa gas hidrogen (H_2). Selain logam alkali, logam lain juga dapat menghasilkan gas hidrogen jika dilarutkan dengan pelarut asam. Contohnya logam aluminium dengan pelarut H_2SO_4.

Coba kalian praktikkan di rumah.

1. Timbang 5 gram limbah kemasan yang mengandung logam aluminium.
2. Masukkan ke dalam gelas kaca yang berisi air aki atau H_2SO_4.
3. Tutup erat gelas kaca tersebut dengan balon.
4. Biarkan balon membesar sampai tidak bertambah besar lagi.
5. Ukur diameter balon.

Setelah melakukan percobaan ini, jawablah pertanyaan berikut.

1. Temukan lima contoh limbah lain yang dapat digunakan sebagai penghasil gas hidrogen!
2. Mengapa produk limbah kemasan yang kalian temukan tersebut dapat digunakan sebagai penghasil gas hidrogen?



Inti Sari

Partikel dasar penyusun atom adalah proton, neutron, dan elektron. Proton sebagai penyusun inti atom yang bermuatan positif dikelilingi oleh elektron yang bergerak dalam lintasannya. Sistem periodik unsur bentuk panjang menjelaskan bahwa unsur-unsur disusun berdasarkan kenaikan nomor atom. Sifat keperiodikan suatu unsur terdiri atas jari-jari atom, energi ionisasi, afinitas elektron, dan keelektronegatifan. Jari-jari atom semakin mengecil dengan bertambahnya jumlah proton dan elektron valensi pada kulit yang sama dan bertambah seiring bertambahnya jumlah kulit. Energi ionisasi, afinitas elektron, dan keelektronegatifan semakin bertambah dengan turunnya jari-jari atom dan berkurang dengan naiknya jari-jari atom. Sifat keperiodikan unsur sangat memengaruhi kereaktifan suatu unsur. Unsur yang mudah melepaskan atau menerima elektron memiliki kereaktifan yang besar karena mudah bereaksi dengan unsur lainnya. Kereaktifan suatu unsur dapat diaplikasikan pada berbagai bidang kehidupan.

Ayo Refleksi

Setelah mempelajari materi Struktur Atom dan Sistem Periodik Unsur, silakan kalian merefleksi diri. Berilah ceklis (√) pada kolom Ya/Tidak untuk pernyataan berikut ini.

No.	Pernyataan	Tanggapan	
		Ya	Tidak
1.	Saya dapat menggambarkan struktur atom berdasarkan hasil analisis perkembangan model atom.		
2.	Saya dapat menentukan bilangan kuantum elektron dalam suatu atom.		
3.	Saya dapat menyusun konfigurasi elektron dan menentukan kedudukannya dalam sistem periodik unsur.		
4.	Saya dapat menganalisis keperiodikan sifat unsur dan hubungannya dengan kereaktifan unsur.		

Menurut kalian materi manakah yang sulit dipahami dalam bab Struktur Atom dan Sistem Periodik Unsur? Jelaskan alasannya!

Ayo Cek Pemahaman

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Perhatikan tabel berikut.

Atom	Nomor massa	Nomor atom
W	31	15
X	30	15
Y	29	14
Z	27	13

Pasangan yang merupakan isoton adalah ....

a. W dan X
b. X dan Y
c. Y dan Z
d. W dan Y
e. X dan Z

2. Atom kalium memiliki nomor atom 19. Ketika atom kalium terionisasi membentuk kation, bilangan kuantumnya adalah ....
   a. $n = 3, l = 1, m = 0, s = +½$
   b. $n = 3, l = 1, m = –1, s = +½$
   c. $n = 3, l = 1, m = +1, s = –½$
   d. $n = 4, l = 0, m = 0, s = +½$
   e. $n = 4, l = 0, m = 0, s = –½$

3. Pernyataan yang *tidak tepat* dari sifat periodik unsur adalah ...
   a. Dalam satu periode (dari kiri ke kanan), jari-jari atom semakin kecil.
   b. Dalam satu golongan (dari atas ke bawah), afinitas elektron semakin kecil.
   c. Unsur golongan IA memiliki energi ionisasi yang lebih besar dibandingkan golongan IIA.
   d. Unsur golongan halogen memiliki kelektronegatifan yang tinggi.
   e. Unsur golongan VIIA lebih mudah menerima elektron dibandingkan golongan VIA.

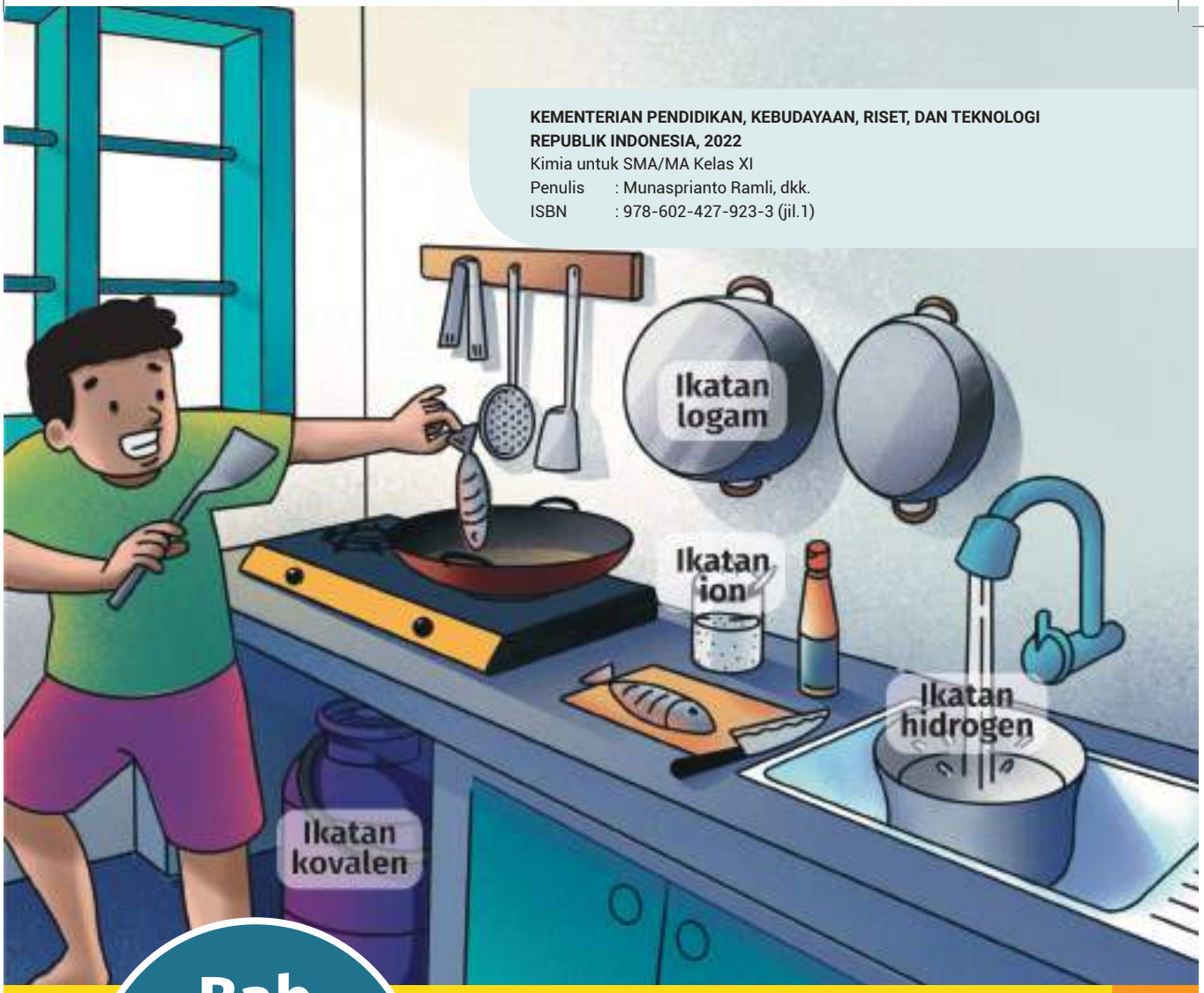
4. Suatu atom memiliki konfigurasi elektron $_{31}X$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^1$. Unsur dari atom tersebut berada pada sistem periodik ....
   a. golongan IA periode 4
   b. golongan IIIB periode 4
   c. golongan IB periode 4
   d. golongan IIIA periode 4
   e. golongan IIIA periode 3

5. Diketahui unsur Na dan Mg. Pernyataan yang tepat tentang kedua unsur tersebut adalah ...
   a. Jari-jari atom Na lebih kecil dari Mg.
   b. Energi ionisasi Na lebih besar dari Mg.
   c. Atom Na dan Mg berada dalam satu golongan.
   d. Keelektronegatifan Na lebih kecil dari Mg.
   e. Afinitas elektron Na lebih besar dari Mg.

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan tepat!

1. Rutherford melakukan percobaan menggunakan lempeng emas tipis dan menembakkannya dengan sinar alfa yang berasal dari uranium. Dari percobaan tersebut diketahui bahwa atom bukanlah bola pejal yang bermuatan positif. Bagaimanakah Rutherford dapat menjelaskan posisi proton dan elektron berdasarkan percobaan yang dilakukannya?
2. Kaporit atau kalsium hipoklorit merupakan salah satu zat yang digunakan sebagai disinfektan pada kolam renang. Kaporit mengandung sekitar 70 persen klorin. Disinfektan ini dapat menghancurkan bakteri yang ada di dalam air kolam renang. Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaannya tidak boleh berlebihan. Mengapa klorin dapat digunakan sebagai disinfektan?
3. Unsur logam berilium tidak beraksi ketika dimasukkan ke dalam air. Sementara unsur magnesium bereaksi lambat dalam air dingin, tetapi bereaksi lebih baik dalam air panas. Lebih lanjut, logam kalsium dapat menghasilkan reaksi yang kuat ketika dimasukkan ke dalam air dingin. Mengapa hal ini dapat terjadi?

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022
Kimia untuk SMA/MA Kelas XI
Penulis : Munasprianto Ramli, dkk.
ISBN : 978-602-427-923-3 (jil.1)

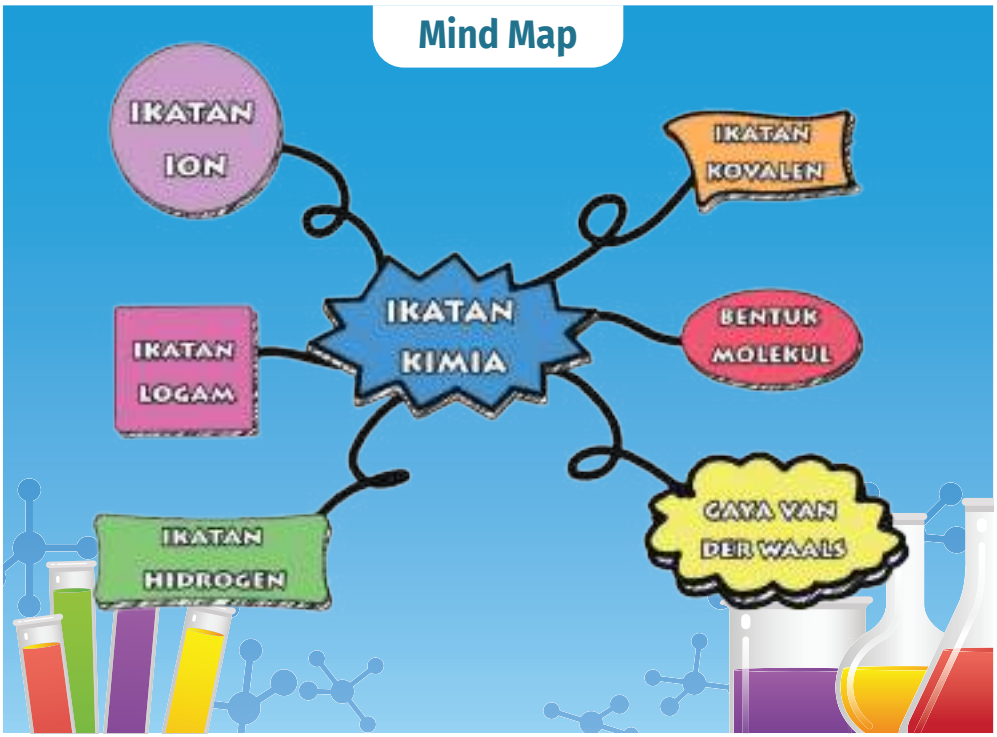


Bab II

Ikatan Kimia

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat membedakan proses pembentukan ikatan ion dan kovalen, menjelaskan ikatan logam, menghubungkan jenis ikatan dengan sifat zat, memprediksi bentuk molekul dengan teori VSEPR dan menjelaskan hibridisasinya, memprediksi kepolaran zat, serta menentukan interaksi antarmolekulnya.

Mind Map



Komik Kimia





Gambar 2.1 Garam dapur dan logam natrium

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

Cobalah kalian genggam bongkahan garam dapur? Teksturnya kasar dan mudah dihancurkan, bukan? Garam dapur juga aman disentuh oleh kulit. Beda sekali dengan logam natrium. Logam natrium tidak boleh tersentuh oleh kulit karena logam ini sangat reaktif. Logam natrium dapat bereaksi hebat dengan kandungan air yang ada pada permukaan kulit. Logam natrium juga tidak mudah dihancurkan, tapi mudah dipotong dengan pisau.

Di dalam garam dapur terdapat unsur natrium yang membentuk senyawa NaCl. Pada logam natrium juga terdapat unsur natrium yang membentuk padatan logam natrium. Meskipun sama-sama memiliki unsur natrium tetapi sifat materinya berbeda. Mengapa ini bisa terjadi? Ikatan kimia apakah yang membentuk NaCl dan logam natrium?

A. Dasar Ikatan Kimia

Tahukah kalian unsur yang mengisi balon udara? Balon udara diisi oleh gas helium. Helium merupakan unsur yang terdapat dalam keadaan bebas di alam. Keadaan bebas artinya unsur tersebut berada dalam bentuk atom bebas di alam, tanpa harus berikatan atau bersama dengan unsur-unsur lainnya. Salah satu contoh unsur yang tidak dapat berada dalam keadaan bebas adalah oksigen. Oksigen dapat berikatan dengan sesama oksigen atau unsur lain yang berbeda. Contohnya air dan gas oksigen, air mengandung senyawa H_2O. Senyawa H_2O terdiri atas unsur hidrogen dan oksigen, sementara gas oksigen terbentuk dari ikatan antara atom oksigen dengan atom oksigen lainnya membentuk molekul O_2.

Mengapa ada unsur yang berada dalam keadaan bebas dan tidak? Unsur-unsur yang berada dalam keadaan bebas adalah gas mulia (golongan VIIIA).

Unsur gas mulia merupakan unsur yang stabil karena memenuhi kaidah oktet. Kaidah oktet merupakan kaidah yang menjelaskan tentang jumlah elektron terluar atom unsur yang berjumlah delapan. Setiap atom unsur mencapai keadaan stabil dengan cara melepas atau menerima elektron dari atom lain sehingga jumlah elektron pada kulit terluarnya sama dengan elektron terluar gas mulia.

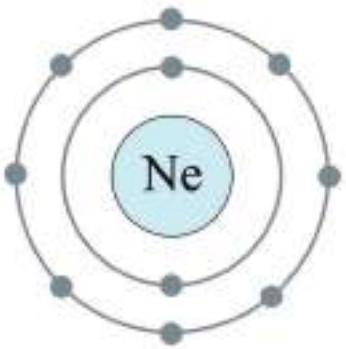
Gilbert Lewis mengemukakan postulat sederhana terkait pembentukan ikatan sebagai berikut.

1. Unsur-unsur gas mulia berada dalam keadaan atom, bukan dalam keadaan molekul, karena konfigurasi elektronnya sudah stabil.
2. Unsur-unsur selain gas mulia akan membentuk ikatan sehingga konfigurasi elektronnya menyerupai konfigurasi elektron gas mulia.

Suatu atom berupaya mencapai kestabilannya dengan cara membentuk ikatan. Ikatan yang terbentuk dari kontribusi atom-atom yang membentuk kestabilan ini disebut ikatan kimia. Ikatan kimia dapat menghasilkan molekul dan senyawa baru.

Kestabilan Atom

Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa unsur cenderung mencapai kestabilan dengan melepaskan atau menerima elektron. Konfigurasi elektron dikatakan stabil ketika jumlah elektron terluarnya 2 (duplet) dan 8 (oktet) seperti konfigurasi elektron gas mulia. Atom dapat membentuk kation dengan melepaskan elektron valensinya. Atom juga dapat membentuk anion dengan menerima elektron. Gambar 2.2 memperlihatkan konfigurasi elektron yang dimiliki oleh atom neon, salah satu unsur gas mulia.



Gambar 2.2 Konfigurasi elektron atom Ne (2 8)

Berikut ini konfigurasi elektron unsur-unsur gas mulia.

$_{2}He$: $1s^2$	(2)
$_{10}Ne$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$	(2 8)
$_{18}Ar$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$	(2 8 8)
$_{36}Kr$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6$	(2 8 18 8)
$_{54}Xe$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^6$	(2 8 18 18 8)

Tampak bahwa konfigurasi elektron unsur-unsur gas mulia memenuhi kaidah oktet, kecuali helium (duplet).



Contoh

Penentuan konfigurasi elektron untuk mencapai kestabilan

1. K: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$

   Atom K mempunyai energi ionisasi yang rendah sehingga mudah melepaskan elektron valensinya membentuk kation. Untuk mencapai oktet, atom K cenderung melepaskan 1 elektron valensinya dibandingkan menerima 7 elektron sehingga membentuk kation K^+ agar konfigurasi elektronnya sama dengan argon (Ar: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$).

   $_{19}K \longrightarrow K^+ + e^-$
   (2 8 8 1) (2 8 8)

2. F: $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$

   Atom F memiliki afinitas elektron yang besar sehingga mudah menerima elektron membentuk anion. Untuk mencapai oktet, atom F cenderung menerima 1 elektron dibandingkan melepaskan 7 elektron valensinya sehingga membentuk anion F^- agar konfigurasi elektronnya sama dengan neon (Ne: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$).

   $_{9}F + e^- \longrightarrow F^-$
   (2 7) (2 8)

Ayo Berlatih

Tentukan kecenderungan atom-atom di bawah ini untuk mencapai kestabilan melalui konfigurasi elektronnya!

a. $_{11}Na$
b. $_{17}Cl$
c. $_{8}O$
d. $_{12}Mg$
e. $_{56}Ba$
f. $_{16}S$

B. Ikatan Ion

Pernahkah kalian melihat proses pembuatan garam? Salah satu proses untuk mendapatkan padatan garam adalah pengeringan dengan menjemur air laut di bawah sinar matahari, seperti terlihat pada Gambar 2.3. Air akan mengering dan tampak butiran-butiran kristal putih. Garam merupakan zat yang mengandung senyawa ion NaCl. Bagaimanakah sebenarnya prinsip pembentukan senyawa ion NaCl sehingga dapat berwujud padat?

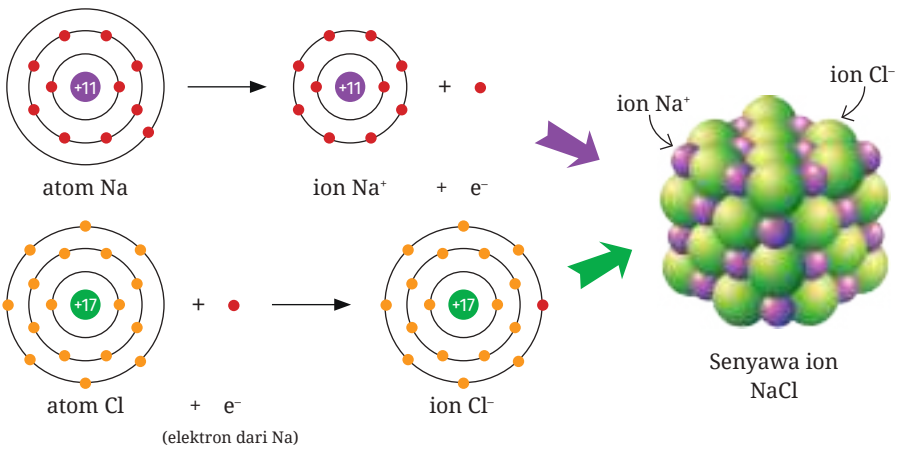


Gambar 2.3 Proses pengeringan garam

Senyawa ion terbentuk karena adanya ikatan ion. Ikatan ion dibentuk oleh atom dari unsur logam dan nonlogam. Seperti halnya senyawa NaCl yang terdiri atas unsur natrium dan klorin. Unsur natrium merupakan logam dan klorin merupakan nonlogam. Pembentukannya dimulai dengan proses sublimasi logam natrium yang berwujud padat menjadi atom natrium yang berwujud gas.

Seperti yang sudah dipelajari pada bab sebelumnya (Struktur Atom dan Sistem Periodik Unsur), natrium sebagai unsur golongan logam alkali (IA) memiliki energi ionisasi yang rendah sehingga lebih mudah melepaskan elektron dibandingkan menerima elektron. Saat natrium berada dalam fase gas, atom natrium melepaskan satu elektron valensinya membentuk kation natrium agar stabil. Molekul klorin yang awalnya berikatan dalam bentuk Cl_2 mengalami proses disosiasi oleh panas membentuk atom Cl. Atom Cl menerima elektron yang dilepaskan oleh atom Na. Proses serah terima elektron ini menyebabkan adanya gaya tarik-menarik antara kation dan anion sehingga terbentuk ikatan ion. Proses pembentukan ikatan ion dari unsur-unsurnya dapat dilihat pada tahapan di bawah ini.

1. $Na(s) \longrightarrow Na(g)$ (sublimasi)
2. $Na(g) \longrightarrow Na^+(g) + e^-$ (melepaskan elektron valensi)
3. $Cl_2(g) \longrightarrow 2Cl(g)$ (disosiasi)
4. $Cl(g) + e^- \longrightarrow Cl^-(g)$ (menerima elektron)
5. $Na^+(g) + Cl^-(g) \longrightarrow NaCl(s)$ (membentuk ikatan ion)

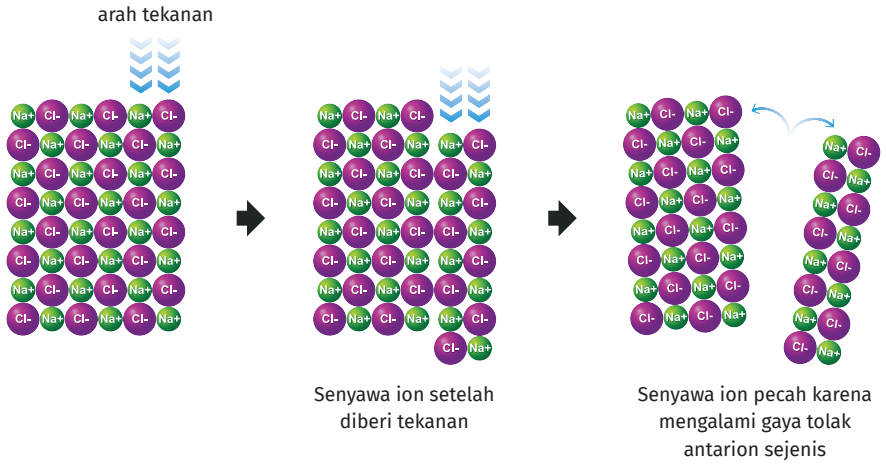


Gambar 2.4 Proses pembentukan ikatan ion

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pembentukan ikatan ion, yaitu:

1. Jumlah elektron yang dilepaskan harus sama dengan jumlah elektron yang diterima sehingga harus disesuaikan.
2. Unsur logam harus ditulis sebagai monoatom, contoh Na, K, Li, dan Mg.
3. Unsur nonlogam harus ditulis dalam bentuk dwiatom, seperti Cl_2, F_2, Br_2, dan O_2, kecuali untuk unsur karbon, fosfor, dan belerang ditulis masing-masing sebagai C, S, dan P_4.

Mengapa senyawa ion yang memiliki wujud padat dapat pecah atau hancur saat dipukul? Hal ini terjadi karena ion positif (kation) dan ion negatif (anion) berulang secara teratur membentuk sebuah kisi kristal yang memadat. Namun, ketika senyawa ion diberikan tekanan atau beban maka akan mudah hancur. Ion positif dan ion negatif berpindah tempat dan menjadi tidak teratur lagi sehingga kisi kristalnya pecah (seperti terlihat pada Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Senyawa ion pecah ketika dipukul.

Adanya keteraturan susunan ion positif dan ion negatif serta keterikatan yang kuat karena gaya elektrostatisnya yang besar maka senyawa ion memiliki titik leleh dan titik didih yang tinggi. Senyawa ion juga mudah larut di dalam air. Ketika senyawa ion dilarutkan maka ion positif dan ion negatifnya akan bergerak dengan bebas di dalam larutannya sehingga senyawa ion yang terlarut dapat menghantarkan arus listrik.

C. Ikatan Kovalen

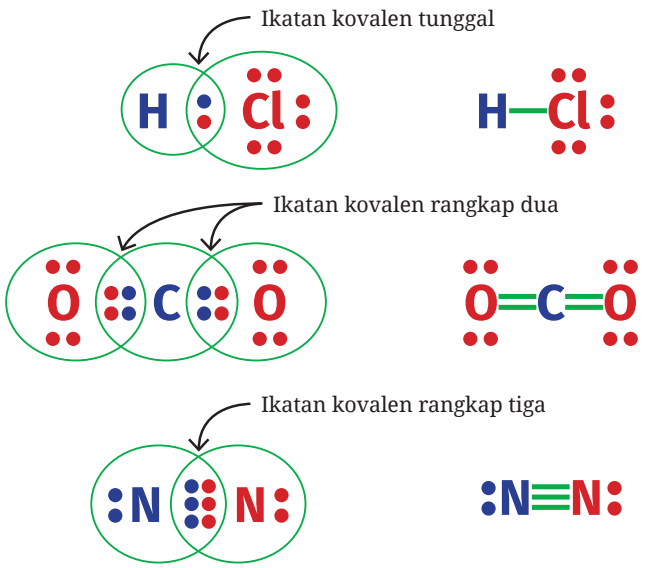
Air tersusun atas molekul-molekul H_2O. Molekul H_2O terbentuk akibat adanya ikatan antara atom hidrogen (H) dan atom oksigen (O). Hidrogen dan oksigen merupakan unsur nonlogam. Kedua unsur ini memiliki energi ionisasi dan afinitas elektron yang tinggi. Atom hidrogen dan oksigen tidak akan saling melepas ataupun menerima elektron



Gambar 2.6 Ikatan kovalen pada H_2O

seperti pada pembentukan ikatan ion. Satu elektron dari atom hidrogen berpasangan dengan satu elektron atom oksigen sehingga terbentuklah ikatan, seperti pada Gambar 2.6. Ikatan ini disebut dengan **ikatan kovalen**. Jadi, ikatan kovalen adalah ikatan antaratom nonlogam yang terbentuk karena pemakaian bersama pasangan elektron.

Ikatan kovalen dapat berbentuk ikatan tunggal dan rangkap. Gambar berikut memperlihatkan contoh bentuk ikatan kovalen tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga.



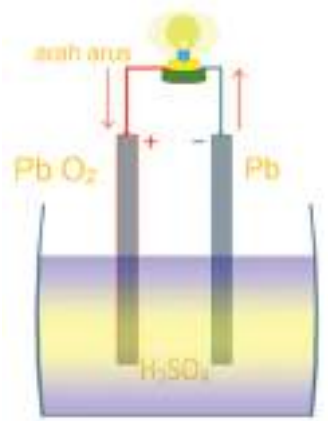
Gambar 2.7 Ikatan kovalen tunggal HCl, ikatan kovalen rangkap dua CO_2, dan ikatan kovalen rangkap tiga N_2.

Pada Gambar 2.7, atom H dengan Cl membentuk ikatan kovalen tunggal menghasilkan molekul HCl, di mana pada atom Cl juga memiliki tiga pasang elektron bebas (tidak digunakan untuk berikatan) sehingga memenuhi kaidah oktet (delapan elektron). Atom C dengan dua atom O membentuk ikatan kovalen rangkap dua menghasilkan molekul CO_2. Pada setiap atom O yang terikat terdapat satu ikatan rangkap dua dan dua pasang elektron bebas sehingga baik atom C maupun O telah memenuhi kaidah oktet. Kaidah oktet juga terpenuhi pada molekul N_2. Atom N berikatan dengan atom N membentuk ikatan rangkap tiga dan terdapat satu pasang elektron bebas pada setiap atom N yang terikat untuk memenuhi kaidah oktet.

1. Ikatan kovalen polar dan nonpolar

Tahukah kalian fungsi aki? Aki merupakan sumber energi listrik dalam sebuah kendaraan. Tanpa aki yang berfungsi dengan baik maka mesin kendaraan tidak bisa dihidupkan. Di dalam aki terjadi aliran elektron sehingga menimbulkan arus listrik. Lalu, apa sebenarnya kandungan dari air aki (H_2SO_4) dan jenis ikatan pembentuk senyawanya?

Berdasarkan kepolaran, ikatan kovalen dapat dibagi menjadi ikatan kovalen polar dan nonpolar. Ikatan kovalen polar terbentuk karena atom-atom yang saling berikatan memiliki perbedaan keelektronegatifan. Contohnya, ikatan kovalen yang terbentuk antara atom hidrogen dengan atom klorin membentuk asam klorida (HCl). Atom hidrogen memiliki keelektronegatifan 2,1, sementara atom klorin 3,0. Apakah kalian masih ingat dengan teori keelektronegatifan pada bab 1?



Gambar 2.8 Larutan H_2SO_4 pada aki

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

Keelektronegatifan yang lebih tinggi pada atom Cl menyebabkan pasangan elektron yang membentuk ikatan antara H dan Cl tertarik ke arah atom Cl (delta negatif, δ^-), seperti yang terlihat pada Gambar 2.9. Atom H menjadi kurang elektron (delta positif, δ^+). Keadaan ini menyebabkan terjadinya pengutuban. Adanya dua kutub ini disebut dengan polarisasi yang menyebabkan terbentuknya ikatan kovalen polar. Sementara, ikatan kovalen nonpolar terbentuk antara atom-atom nonlogam yang sejenis dan tidak memiliki perbedaan keelektronegatifan.



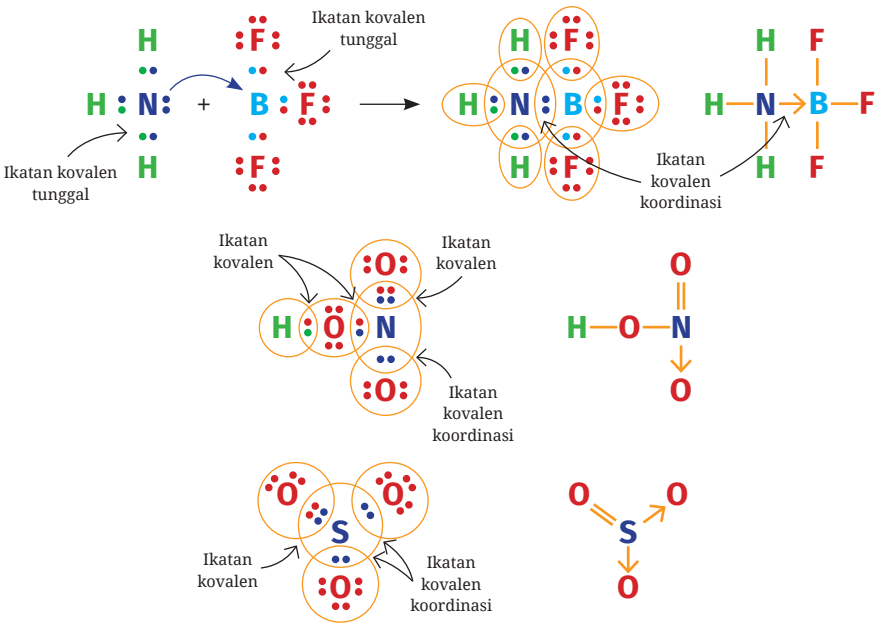
Gambar 2.9 Ikatan kovalen polar pada HCl

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

Ikatan kovalen polar yang membentuk molekul polar akan menghasilkan senyawa polar. Senyawa polar juga dapat menghantarkan arus listrik seperti senyawa ion. Namun, senyawa polar hanya dapat menghantarkan arus listrik saat dalam bentuk larutan. Selain itu, senyawa kovalen juga memiliki titik leleh dan titik didih yang lebih rendah dari senyawa ion dan logam.

2. Ikatan kovalen koordinasi

Ikatan kovalen tidak hanya dihasilkan dari kontribusi elektron pada masing-masing atom yang terikat, tetapi bisa dari salah satu atom saja. Ikatan kovalen koordinasi terjadi ketika pasangan elektron untuk berikatan berasal dari salah satu atom, sementara atom lain yang terikat tidak menyumbangkan elektron sama sekali, seperti yang terlihat pada Gambar 2.10.



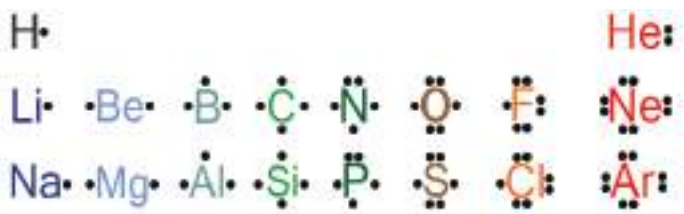
Gambar 2.10 Ikatan kovalen koordinasi pada molekul NH_3BF_3, HNO_3, dan SO_3

Atom N pada molekul NH_3 memiliki pasangan elektron bebas, sementara atom B pada molekul BF_3 tidak memiliki elektron lagi untuk disumbangkan. Atom B hanya mengikat tiga atom F sehingga pada atom B masih tersisa satu orbital yang kosong. Orbital yang masih kosong ini diisi oleh pasangan elektron bebas yang berasal dari atom N sehingga terbentuk ikatan tunggal antara atom N dan B. Jadi, ikatan ini terbentuk oleh pemakaian pasangan elektron secara bersama yang hanya disumbangkan oleh atom N sehingga atom N dan B mencapai keadaan oktet.

Pada molekul HNO_3, atom N sudah mengikat dua atom O dengan ikatan kovalen tunggal dan rangkap. Agar atom N dan O memenuhi kaidah oktet maka sepasang elektron yang tersisa dari atom N membentuk kovalen koordinasi dengan atom O. Hal yang sama juga terjadi pada molekul SO_3. Atom S memberikan pasangan elektronnya untuk membentuk dua ikatan kovalen koordinasi dengan dua atom O, sehingga atom S dan ketiga atom O yang terikat memenuhi kaidah oktet.

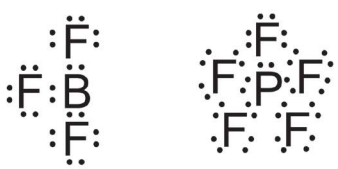
3. Struktur Lewis pada ikatan kovalen

Penulisan struktur Lewis sangat diperlukan untuk menentukan ketercapaian kaidah oktet maupun kepolaran dalam ikatan kovalen. Penentuan struktur Lewis dimulai dengan menggambar elektron valensi dari masing-masing atom dengan titik, atau disebut dengan *Lewis electron-dot symbol* (simbol titik-elektron Lewis atau simbol Lewis). Contoh simbol Lewis beberapa unsur dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Contoh simbol Lewis pada beberapa unsur

Setiap simbol Lewis dari masing-masing atom yang terikat harus memenuhi kaidah oktet, yaitu delapan elektron valensi di sekitar atom, kecuali atom hidrogen yang sudah terpenuhi dengan dua elektron saja (*duplet*). Namun, ada beberapa molekul yang mengalami penyimpangan kaidah oktet, seperti BF_3 dan PF_5 (Gambar 2.12). Pada molekul BF_3, atom B hanya memiliki enam elektron valensi dan atom P pada PF_5 memiliki sepuluh elektron valensi. Meskipun tidak memenuhi kaidah oktet, tetapi kedua senyawa ini stabil. Keadaan ini disebut dengan penyimpangan kaidah oktet.



Gambar 2.12 Struktur Lewis BF_3 dan PF_5

Contoh

Diketahui unsur A memiliki nomor atom 19 dan unsur B bernomor atom 17. Prediksikan ikatan yang dapat terbentuk antara:

a. atom A dengan atom B
b. atom B dengan atom B

Jawab:

$_{19}$A: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$

Elektron valensi: $4s^1$

Atom A berada pada golongan IA (logam), cenderung melepaskan 1 elektron dibandingkan menerima 7 elektron untuk memenuhi kaidah oktet, sehingga membentuk ion A^+.

$_{17}$B: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

Elektron valensi: $3s^2\ 3p^5$

Atom B berada pada golongan VIIA (nonlogam), cenderung menerima 1 elektron dibandingkan melepaskan 7 elektron untuk memenuhi kaidah oktet, sehingga membentuk ion B^-.

a. Atom A (logam) dengan B (nonlogam) membentuk ikatan ion.
   $A^+ + B^-$ = senyawa ion AB
b. Atom B dengan B membentuk ikatan kovalen.
   B + B = senyawa kovalen B_2

Ayo Berlatih

Diketahui unsur X, Y, dan Z masing-masing memiliki nomor atom 20, 8, dan 17. Tentukanlah jenis ikatan yang dapat terbentuk antara:

a. X dengan Y
b. Y dengan Y
c. X dengan Z
d. Z dengan Z

Aktivitas 2.1

Penentuan karakter senyawa ion dan kovalen dengan pemanasan

Alat dan bahan:

1. Lilin
2. Korek api
3. Sendok
4. Gula
5. Garam

Langkah kerja:

1. Letakkan gula dan garam di sendok terpisah.
2. Nyalakan api lilin menggunakan korek api/pemantik.
3. Posisikan sendok berisi gula dan garam di atas api lilin.
4. Panaskan beberapa saat.
5. Amati perubahan pada butiran gula dan garam.
6. Simpulkan hasil pengamatan kalian.
7. Susunlah laporan hasil percobaan dan presentasikan di depan kelas.

Pertanyaan:

1. Bahan apa yang mudah meleleh?
2. Bahan apa yang termasuk senyawa ion?
3. Bahan apa yang termasuk senyawa kovalen?
4. Bagaimana perbedaan titik leleh senyawa ion dengan kovalen?

D. Ikatan logam

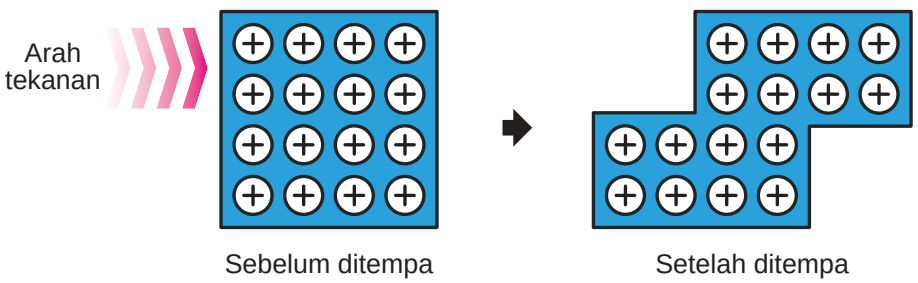
Coba kalian temukan contoh logam yang ada di rumah. Apakah wujudnya padat, cair, atau gas? Tahukah kalian jenis ikatan kimia yang membentuk logam tersebut? Meskipun logam sangat keras, logam juga dapat ditempa dan dibentuk. Contohnya teralis besi yang dapat dibentuk menjadi beragam desain.



Gambar 2.13 Teralis besi

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

Unsur logam pada umumnya berada pada golongan transisi (golongan B), golongan alkali (IA), alkali tanah (IIA), serta beberapa unsur dari golongan IIIA dan IVA. Logam umumnya berwujud padat, mengilat, dan tidak akan patah saat dibentuk.



Gambar 2.14 Inti atom dan lautan elektron pada ikatan logam

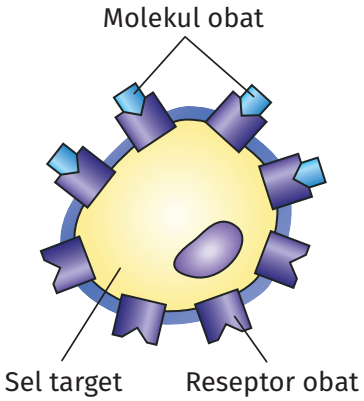
Pada Gambar 2.14 terlihat bahwa ion-ion positif dari atom logam dikelilingi oleh elektron. Elektron ini adalah elektron valensi dari logam tersebut. Elektron-elektron tersebut saling bertumpang tindih membentuk seperti lautan elektron dan bergerak dengan bebas di sekitar inti atom. Pergerakan elektron valensi dengan bebas menyebabkan adanya daya hantar listrik pada logam.

Lautan elektron pada logam bergerak bebas, tetapi terikat sangat kuat dengan ion-ion positif dari atom logamnya. Hal ini menyebabkan logam tidak akan patah, retak, atau hancur saat dipukul atau ditempa (diberikan tekanan). Terlihat pada Gambar 2.14, ion positif dan elektronnya hanya bergeser ketika diberi tekanan. Ikatan yang kuat ini juga menyebabkan jarak antaratomnya menjadi sangat dekat sehingga logam umumnya ditemukan dalam wujud padat.

Ikatan logam dapat terjadi antaratom logam yang sejenis dan berbeda jenis. Contoh logam sejenis, yaitu logam emas 24 karat (terdiri atas atom Au) dan tembaga murni (terdiri atas atom Cu) untuk penghantar arus listrik. Contoh logam dengan unsur logam yang berbeda adalah perunggu yang merupakan paduan timah (Sn) dan tembaga (Cu) serta kuningan berupa paduan tembaga (Cu) dan seng (Zn).

E. Bentuk Molekul

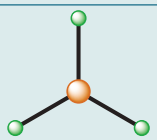
Kalian tentu pernah minum obat, bukan? Mengapa obat yang kalian minum dapat mengurangi, bahkan menghilangkan rasa sakit? Proses reaksi penghilangan rasa sakit ketika meminum obat ternyata sangat dipengaruhi oleh bentuk molekul obat tersebut. Proses penghantaran sinyal pada tubuh manusia saat meminum obat ditentukan oleh kecocokan bentuk molekul obat yang diminum dengan bentuk molekul penerima obat (reseptor), seperti yang terlihat pada Gambar 2.15.

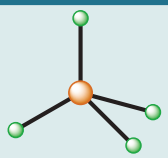
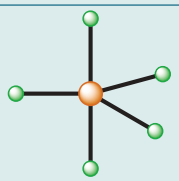
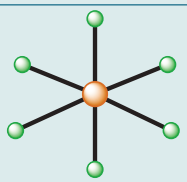


Gambar 2.15 Proses molekul obat diterima oleh molekul reseptor pada tubuh manusia.

Seperti apakah bentuk molekul? Bagaimanakah ilmuwan menggambarkan bentuk molekul? Bentuk molekul menggambarkan posisi atom yang terikat dalam satu molekul secara tiga dimensi. Bentuk molekul juga bisa memperlihatkan sudut ikatan, orbital-orbital yang bersatu dalam membentuk ikatan, dan orbital pasangan elektron bebas yang tidak membentuk ikatan. Bentuk molekul lebih mudah diprediksi dengan teori tolakan pasangan elektron kulit valensi (*valence shell electron pair repulsion*, VSEPR) dan ikatan yang terbentuk dapat dijelaskan dengan teori hibridisasi. Bentuk molekul dasar pada ikatan kovalen dapat dilihat pada Tabel 2.1.

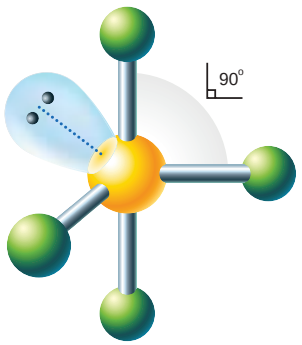
Tabel 2.1 Bentuk Molekul Dasar

No.	Bentuk 3D	Nama	Sudut ikatan	Orbital hibrida	Contoh senyawa
1.		Linear	180°	*sp*	BeH_2
2.		Segitiga datar	120°	sp^2	BF_3

No.	Bentuk 3D	Nama	Sudut ikatan	Orbital hibrida	Contoh senyawa
3.		Tetrahedral	109,5°	sp^3	CH_4
4.		Trigonal bipiramida	120° dan 90°	sp^3d	PF_5
5.		Oktahedral	90°	sp^3d^2	SF_6

1. Teori tolakan pasangan elektron kulit valensi (VSEPR)

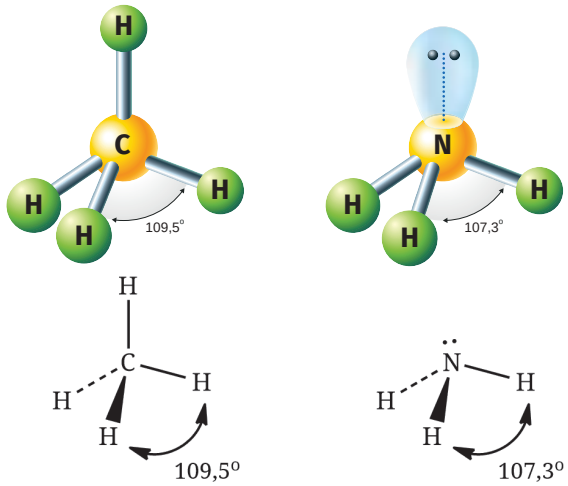
Coba perhatikan Gambar 2.16! Atom pusat S mengikat empat atom Cl dan ada satu orbital pada atom pusat yang ditempati oleh pasangan elektron bebas. Setiap atom pusat menyediakan orbital agar atom lain dapat terikat, sementara elektron yang tersisa pada atom pusat tetap berada dalam orbital tersendiri pada atom pusat. Bagaimana hal ini dapat dijelaskan?



Gambar 2.16 Bentuk molekul SCl_4

Posisi dan interaksi pasangan elektron bebas pada kulit valensi atom pusat ketika berikatan dengan atom lain dapat dijelaskan dengan teori VSEPR. Teori VSEPR dapat digunakan untuk memprediksi bentuk molekul dengan tahapan: (1) menentukan jumlah semua pasangan elektron (kelompok pasangan elektron) pada atom pusat (dari struktur Lewisnya), (2) menentukan geometri dari semua pasangan elektron tersebut, serta (3) menentukan geometri molekul (a) untuk yang tidak mempunyai pasangan elektron bebas dan (b) yang mempunyai pasangan elektron bebas. Pasangan elektron bebas memiliki

gaya tolak yang jauh lebih besar daripada pasangan elektron yang berikatan sehingga pasangan elektron bebas akan menempati ruangan yang lebih besar daripada pasangan elektron ikatan. Hal ini juga dapat memengaruhi sudut ikatannya.



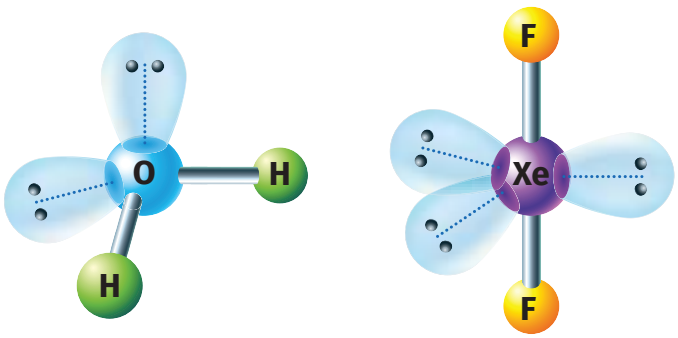
Gambar 2.17 Bentuk molekul CH_4 dan NH_3 dan sudut ikatannya

Pada Gambar 2.17 terlihat bahwa atom karbon memiliki empat pasang elektron yang dipakai berikatan dengan atom hidrogen, sehingga geometri pasangan elektronnya adalah tetrahedral. Pada molekul CH_4 tidak tersisa pasangan elektron bebas pada atom karbon sehingga sudut ikatannya 109,5°. Meskipun molekul CH_4 dan NH_3 memiliki geometri pasangan elektron yang sama, yaitu empat, tetapi sudut ikatannya berbeda. Mengapa hal ini dapat terjadi?

Molekul NH_3 memiliki tiga pasang elektron ikatan yang berasal dari atom pusat nitrogen yang berikatan dengan atom hidrogen. Pada atom nitrogen masih tersisa satu pasang elektron bebas. Pasangan elektron bebas menghasilkan gaya tolak-menolak dengan pasangan elektron ikatan. Gaya tolakan ini lebih besar dibandingkan gaya tolak-menolak antarpasangan elektron ikatan. Hal inilah yang menyebabkan sudut ikatannya menjadi lebih kecil dari 109,5°, yaitu menjadi 107°. Lalu, apa kaitan bentuk molekul dengan kepolaran?

Kepolaran suatu senyawa ditentukan berdasarkan bentuk molekul dan perbedaan keelektronegatifan atom-atom penyusun molekulnya. Contohnya pada molekul H_2O, memiliki bentuk molekul bengkok dan terjadi pengutuban

akibat perbedaan keelektronegatifan pada atom pusat oksigen dengan kedua atom hidrogen yang terikat (Gambar 2.18). Berbeda dengan XeF_2, meskipun terdapat perbedaan keelektronegatifan pada atom xenon dengan kedua atom fluorin yang terikat, tetapi bentuk molekulnya linear, seperti terlihat pada Gambar 2.18. Bentuk simetris pada molekul XeF_2 menyebabkan momen dipolnya saling meniadakan sehingga molekulnya bersifat nonpolar.



Gambar 2.18 Bentuk molekul H_2O dan XeF_2

Contoh

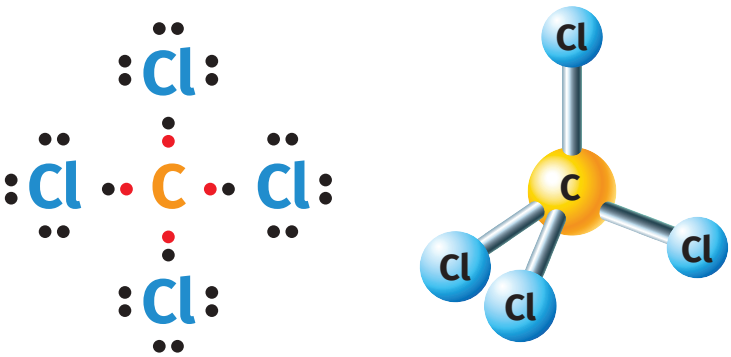
Memprediksi bentuk molekul dengan teori VSEPR

1. Bentuk molekul CCl_4
   Elektron valensi atom C = 4 elektron
   Elektron dari 4 atom Cl = 4 elektron
   Jumlah elektron di sekitar atom pusat = 8 elektron
   Jumlah pasangan elektron di sekitar atom pusat = 4 pasang

   Karena ada empat pasang elektron di sekitar atom pusat, maka geometri pasangan elektronnya adalah tetrahedral (menurut teori VSEPR, keempat pasang elektron ini akan saling tolak-menolak sejauh mungkin agar tolakannya minimal, dan ini dicapai dengan orientasi/geometri tetrahedral).

   Karena semua pasangan elektron tersebut digunakan untuk berikatan maka geometri/bentuk molekulnya adalah tetrahedral.

   Rumus dari bentuk molekul CCl_4 adalah AX_4 (A: atom pusat, X: pasangan ikatan = 4).

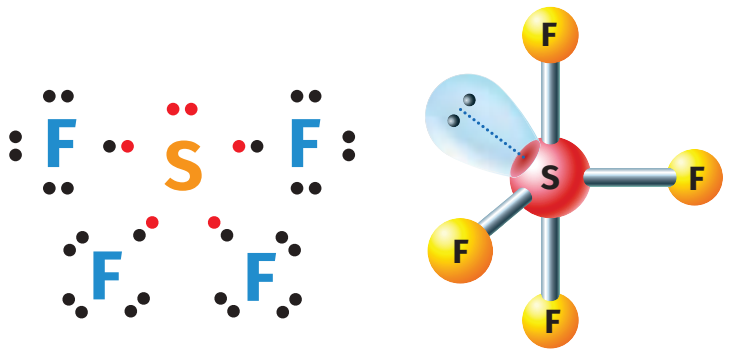


Gambar 2.19 Struktur Lewis dan bentuk molekul CCl_4

2. Bentuk molekul SF_4
   Elektron valensi atom S = 6 elektron
   Elektron dari 4 atom F = 4 elektron
   Jumlah elektron di sekitar atom pusat = 10 elektron
   Jumlah pasangan elektron di sekitar atom pusat = 5 pasang

   Lima pasang elektron di sekitar atom pusat menghasilkan geometri pasangan elektron trigonal bipiramida (lihat kembali Tabel 2.1). Namun, sepasang elektron bebas pada atom pusat menyebabkan tolak-menolak sejauh mungkin antara pasangan elektron bebas dengan pasangan elektron ikatan. Hal ini menyebabkan geometri molekulnya menjadi tetrahedral terdistorsi.

   Rumus dari bentuk molekul SF_4 adalah AX_4E (A: atom pusat, X: pasangan ikatan = 4, E: pasangan elektron bebas = 1).



Gambar 2.20 Struktur Lewis dan bentuk molekul SF_4

Aktivitas 2.2

Memprediksi bentuk molekul dengan *molymod* sederhana

Buatlah *molymod* sederhana menggunakan bahan-bahan di bawah ini.

1. Lembaran *styrofoam*
2. Tusuk sate
3. Gunting
4. Cat air (hitam, biru, merah, hijau, ungu, oranye, dan kuning)
5. Ampelas

Cara membuat:

1. Potong *styrofoam* menjadi bentuk dadu.
2. Ampelas hingga berbentuk bulat.
3. Cat bulatan *styrofoam* menggunakan cat air dengan ketentuan:
   a. putih (tidak dicat) untuk atom hidrogen
   b. hitam untuk atom karbon
   c. biru untuk atom nitrogen
   d. merah untuk atom oksigen
   e. hijau untuk atom fluorin dan klorin
   f. ungu untuk atom iodin
   g. oranye untuk atom fosfor
   h. kuning untuk atom sulfur

Langkah kegiatan:

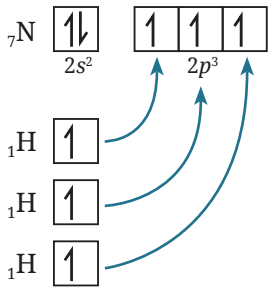
1. Prediksikan bentuk molekul berikut dengan cara menusukkan bulatan *styrofoam* sesuai warnanya menggunakan tusuk sate sebagai representasi pasangan elektron ikatan.
   a. PCl_3
   b. IF_3
   c. SF_6
2. Gambarkan bentuk molekul tersebut di buku latihan kalian.
3. Cobalah untuk memprediksi bentuk molekul lainnya dari *molymod* sederhana tersebut.

2. Teori Hibridisasi

Bentuk molekul yang sudah diprediksi pada materi sebelumnya didukung pula oleh teori hibridisasi. Teori hibridisasi dapat menjelaskan orbital-orbital yang tergabung (hibrida) ketika membentuk ikatan. Dengan teori hibridisasi ini pula orbital yang terpakai oleh pasangan elektron dan atom yang terikat dapat lebih diperjelas.

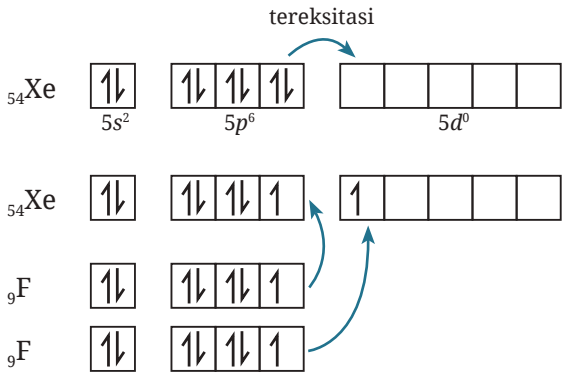
Contoh penentuan hibridisasi molekul kovalen

1. Hibridisasi dari NH_3



Atom nitrogen memiliki empat orbital yang berisi elektron valensi, yaitu satu orbital *s* dan tiga orbital *p*. Saat atom H berikatan dengan atom N, maka tiga orbital *p* yang belum berpasangan akan berhibridisasi bersama orbital *s* dari ketiga atom H untuk membentuk molekul NH_3. Hibridisasi atom pusat N ketika berikatan dengan tiga atom H membentuk NH_3 adalah sp^3. Satu orbital *s* yang diisi pasangan elektron bebas atom pusat tetap dihitung sebagai orbital yang dipakai, seperti yang sudah dijelaskan pada teori VSEPR bahwa pasangan elektron bebas memengaruhi ikatan dan sudut ikatan atom pusat dengan atom yang diikatnya.

2. Hibridisasi dari XeF_2



Xenon merupakan unsur gas mulia yang sudah stabil. Namun, karena elektron valensi xenon berada pada kulit kelima dalam golongan VIIIA, maka xenon memiliki orbital *d* yang kosong. Orbital *d* yang kosong ini dapat digunakan sebagai orbital hibrida untuk terbentuknya ikatan antara atom xenon dan fluorin. Hibridisasi XeF_2 adalah sp^3d (terdapat lima orbital hibrida) dan rumus bentuk molekulnya AX_2E_3 (dua pasang elektron ikatan dan tiga pasang elektron bebas).



Ayo Berlatih

Prediksi bentuk molekul dengan teori VSEPR dan jelaskan hibridisasi dari senyawa:

1. SF_6 (elektron valensi S = 6 dan F = 7)
2. BrF_5 (elektron valensi Br = 7)

F. Ikatan Antarmolekul

Ikatan antarmolekul terjadi karena gaya elektromagnetik yang terjadi antarmolekul. Ikatan antarmolekul sangat lemah dibandingkan ikatan antaratom. Ikatan yang lemah membuat ikatan antarmolekul lebih sering disebut dengan gaya antarmolekul. Gaya antarmolekul terdiri atas ikatan hidrogen dan gaya van der Waals.

1. Gaya van der Waals

Menurut kalian, mengapa oksigen dapat disimpan dalam wujud cair? Sementara oksigen yang kita hirup dalam wujud gas. Apa yang menyebabkan oksigen dapat berubah dari wujud gas menjadi cair atau sebaliknya? Hal ini dapat dijelaskan melalui gaya van der Waals.

Van der Waals diambil dari nama ilmuwan fisika Belanda yang kali pertama menemukan gaya ini, yaitu Johannes van der Waals. Gaya van der Waals terjadi antara partikel yang sama atau berbeda. Gaya ini disebabkan oleh adanya sifat kepolaran. Semakin kecil kepolaran maka semakin kecil pula gaya van der Waals. Gaya van der Waals merupakan ikatan yang sangat lemah.

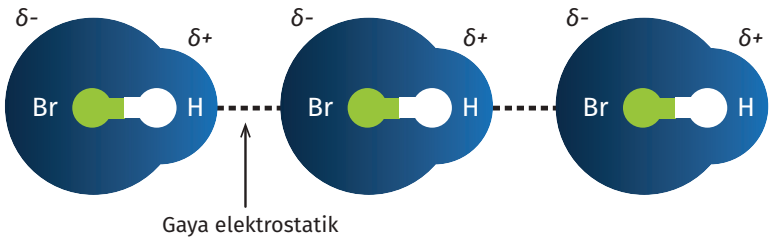


Gambar 2.21 Tabung penyimpanan oksigen cair dan orang bernapas dengan gas oksigen

Sumber: Kemendikbudristek/Arief Firdaus & rawpixel/freepik.com (2017)

Gaya van der Waals dapat terjadi karena adanya interaksi dipol. Interaksi dipol dapat dibedakan menjadi interaksi dipol polar-dipol polar, dipol nonpolar-dipol nonpolar, dan dipol polar-dipol nonpolar.

a. Dipol polar-dipol polar



Gambar 2.22 Dipol permanen pada molekul-molekul HBr

Atom H pada molekul HBr pertama tertarik oleh atom Br pada molekul HBr kedua, seperti yang terlihat pada Gambar 2.22. Hal ini terjadi secara terus-menerus pada molekul-molekul polar sehingga molekul tersebut saling mendekat. Dekatnya jarak molekul-molekul gas ini mengakibatkan wujud senyawanya menjadi cair.

Gaya van der Waals yang terbentuk akibat interaksi dipol polar (molekul polar) dengan dipol polar (molekul polar) disebut dengan dipol permanen. Gaya van der Waals dipol permanen merupakan yang paling kuat dibandingkan dengan gaya van der Waals lainnya.

b. Dipol nonpolar-dipol nonpolar

Hidrogen umumnya disimpan dalam wujud cair. Hal ini untuk menghindari kecenderungan gas hidrogen yang mudah meledak. Namun, dalam pengaplikasiannya, hidrogen tetap harus diubah wujudnya menjadi gas. Mengapa hidrogen yang pada suhu kamar berupa gas bisa dicairkan seperti yang ada di stasiun pengisian bahan bakar pada Gambar 2.23?

Ikatan yang terbentuk pada molekul H_2 adalah ikatan kovalen nonpolar. Molekul nonpolar H_2 dapat berinteraksi dengan molekul nonpolar H_2 di dekatnya. Gaya van der Waals yang terjadi antardipol nonpolar (molekul-molekul nonpolar) disebut dengan gaya dispersi atau gaya London. Gaya ini merupakan gaya yang sangat lemah. Hal ini terjadi karena tidak adanya perbedaan keelektronegatifan antara atom-atom penyusun molekulnya. Meskipun tidak ada perbedaan keelektronegatifan, tetap ada sedikit tarikan yang dihasilkan oleh dipol sesaat. Dipol sesaat terjadi karena ketidakmerataan elektron dalam molekulnya. Dipol sesaat ini yang menyebabkan wujud cair molekul nonpolar dapat cepat berubah menjadi gas.



Gambar 2.23 Penggunaan H_2 pada mobil berbasis bahan bakar hidrogen (*fuel cell*)

c. Dipol polar-dipol nonpolar

Gaya van der Waals yang disebabkan oleh dipol polar dengan nonpolar disebut juga **dipol terimbas**. Adanya momen dipol yang dihasilkan oleh molekul polar menyebabkan molekul nonpolar yang berada berdekatan dengan molekul polar menjadi tertarik. Namun, gaya van der Waals dipol terimbas ini tidak sekuat dipol permanen. Dipol terimbas mudah putus akibat gaya dan tekanan dari luar. Dalam kehidupan sehari-hari kita bisa melihat fenomena ini pada

air mineral (minum). Setiap air yang diminum memiliki kadar oksigen terlarut yang baik. Hal ini karena terdapat gaya tarik dipol terimbas antara molekul O_2 dengan molekul H_2O dalam air. Namun, oksigen terlarut mudah lepas karena efek eksternal, seperti suhu, bakteri, atau bahan kimia. Oleh karena itu, semakin murni dan bersih suatu air minum/mineral maka kadar oksigen terlarutnya semakin tinggi.

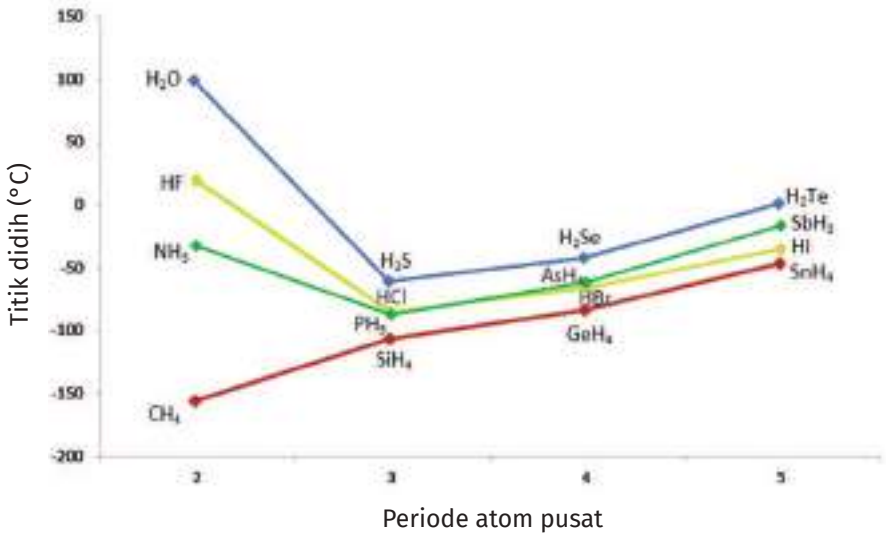


Gambar 2.24 Oksigen dalam air

Sumber: Kemendikbudristek/Nanda Saridewi (2022)

2. Ikatan Hidrogen

Coba perhatikan Gambar 2.25! Mengapa H_2O memiliki titik didih yang lebih tinggi dibandingkan HF dan NH_3? Unsur O, F, dan N berada pada periode yang sama, tetapi H_2O memiliki titik didih yang sangat tinggi.

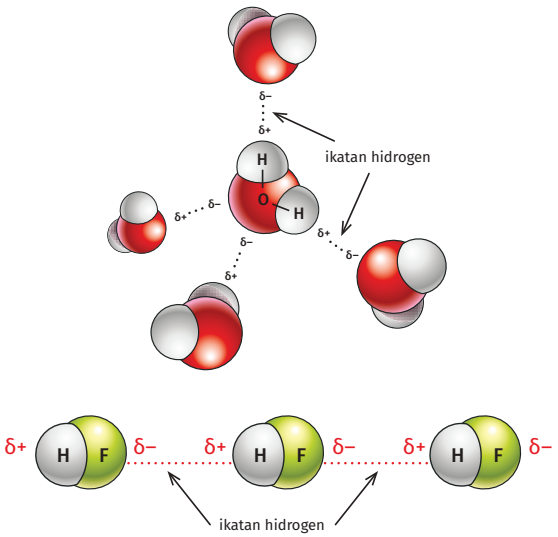


Gambar 2.25 Tren titik didih senyawa hidrida

Tingginya titik didih pada H_2O disebabkan oleh adanya ikatan yang terjadi antara atom H pada molekul H_2O dengan atom O pada molekul H_2O yang lainnya. Perbedaan keelektronegatifan yang besar antara atom unsur hidrogen dan oksigen menyebabkan terbentuknya gaya elektrostatis yang kuat antarmolekulnya. Ikatan antarmolekul ini disebut dengan **ikatan hidrogen**. Ikatan ini begitu kuat dan sulit diputuskan.

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.25, ikatan yang dibentuk oleh unsur N, O, dan F (memiliki perbedaan keelektronegatifan yang tinggi dengan unsur H) titik didihnya lebih tinggi dibandingkan molekul lain yang berada pada golongan yang sama. Contohnya, senyawa H_2O memiliki titik didih lebih tinggi dari H_2S. Ikatan hidrogen hanya terjadi pada molekul-molekul yang mengandung unsur N, O, dan F dengan molekul yang mengandung unsur H. Meskipun ikatan hidrogen merupakan ikatan yang kuat, tetapi ikatan hidrogen termasuk ke dalam ikatan antarmolekul sehingga ikatannya tidak lebih kuat dibandingkan ikatan antaratom (ikatan ion, kovalen, dan logam).

Kekuatan ikatan hidrogen dipengaruhi oleh perbedaan keelektronegatifan antara atom-atom dalam molekulnya. Semakin besar perbedaan keelektronegatifan maka ikatannya semakin kuat. Selain itu, dipengaruhi juga oleh banyaknya ikatan hidrogen yang terjadi. H_2O memiliki lebih banyak ikatan hidrogen (empat ikatan hidrogen untuk setiap molekul H_2O), seperti pada Gambar 2.26, dibandingkan HF yang hanya memiliki dua ikatan hidrogen untuk setiap molekul HF.



Gambar 2.26 Ikatan hidrogen pada H_2O dan HF

Pengayaan

Material terkeras ternyata tersusun atas atom nonlogam



Intan merupakan salah satu mineral yang terdapat di Indonesia. Secara alami, intan terbentuk melalui proses yang sangat panjang. Intan memiliki ikatan antaratom karbon yang sangat kuat dan tidak ada atom pengotor lainnya, seperti oksigen, sulfur, dan hidrogen.

Meskipun hanya terdiri atas atom karbon, susunan yang sangat kuat antaratomnya menjadikan intan sebagai material yang sangat keras. Kekerasan intan mencapai 10 mohs. Nilai ini merupakan standar kekerasan yang tertinggi. Berkat kekerasannya membuat intan banyak digunakan sebagai pemotong. Selain itu, akibat susunan atom-atom karbon yang sangat teratur menjadikan struktur atomiknya kuat. Struktur yang sangat teratur ini juga menjadikan intan sebagai sebuah mineral yang sangat bernilai terutama sebagai perhiasan, sehingga dikenal dengan istilah batu mulia.

Coba temukan contoh mineral lain yang kalian kenal dan tentukan ikatan apa saja yang membentuk senyawa penyusunnya?

Inti Sari

Ikatan kimia terjadi karena suatu atom ingin mencapai kestabilan seperti gas mulia. Ikatan kimia dibagi menjadi ikatan antaratom dan antarmolekul. Ikatan antaratom dapat terjadi antara atom logam dengan nonlogam (ikatan ion), antara atom nonlogam dengan nonlogam (ikatan kovalen), dan antara atom logam dengan logam (ikatan logam). Ikatan antaratom lebih kuat dibandingkan ikatan antarmolekul. Lemahnya ikatan antarmolekul menyebabkan ikatan ini lebih dikenal dengan istilah gaya antarmolekul.

Gaya antarmolekul dibedakan atas ikatan hidrogen dan gaya van der Waals. Gaya van der Waals terbentuk akibat interaksi antara dipol-dipol, baik dipol permanen, dipol terimbas, maupun dipol sesaat. Gaya antarmolekul menyebabkan perubahan wujud pada zat. Adapun bentuk molekul dapat diramalkan dengan teori VSEPR dan pembentukan ikatan dapat dijelaskan dengan teori hibridisasi. Bentuk molekul dapat digunakan untuk menentukan kepolaran suatu senyawa dan sudut-sudut yang terbentuk dari ikatan antaratom.



Ayo Refleksi

Setelah mempelajari materi Ikatan Kimia, silakan kalian merefleksi diri. Berilah ceklis (√) pada kolom Ya/Tidak untuk pernyataan berikut ini.

No.	Pernyataan	Tanggapan	
		Ya	Tidak
1.	Saya dapat membedakan proses pembentukan ikatan ion dan ikatan kovalen.		
2.	Saya dapat menjelaskan pembentukan ikatan logam.		
3.	Saya dapat menghubungkan jenis ikatan dengan sifat zat.		
4.	Saya dapat memprediksi bentuk molekul dengan teori VSEPR dan menjelaskan hibridisasinya.		
5.	Saya dapat memprediksi kepolaran suatu zat.		
6.	Saya dapat menentukan interaksi antarmolekulnya.		

Menurut kalian, materi manakah yang sulit untuk dipahami dalam bab Ikatan Kimia? Jelaskan alasannya!

Ayo Cek Pemahaman

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Diketahui atom $_{19}X$ dan $_{8}Y$. Maka atom X dan Y akan membentuk senyawa yang ....
   a. berikatan ion dengan rumus kimia XY
   b. berikatan ion dengan rumus kimia X_2Y
   c. berikatan ion dengan rumus kimia XY_2
   d. berikatan kovalen dengan rumus kimia X_2Y
   e. berikatan kovalen dengan rumus kimia XY_2

2. Di bawah ini merupakan sifat-sifat senyawa ion, *kecuali* ....
   a. bersifat keras dan rapuh
   b. mudah larut dalam air
   c. memiliki titik leleh dan titik didih yang tinggi
   d. padatannya dapat menghantarkan arus listrik
   e. larutannya dapat menghantarkan arus listrik

3. Diketahui senyawa-senyawa berikut.
   (1) HCl
   (2) $MgBr_2$
   (3) Cl_2
   (4) CCl_4
   (5) H_2O

   Senyawa yang jenis gaya antarmolekulnya termasuk ke dalam dipol-dipol permanen adalah ....
   a. (1) dan (2)
   b. (1) dan (3)
   c. (1) dan (5)
   d. (2) dan (4)
   e. (4) dan (5)

4. XeF_4 memiliki bentuk molekul dan hibridisasi ....
   a. oktahedral dan sp^3d^2
   b. segi empat datar dan sp^3d^2
   c. linear dan sp^3d
   d. tetrahedral dan sp^3
   e. bengkok dan sp^3

5. Di antara molekul berikut,
   (1) PF_5
   (2) $BeCl_2$
   (3) SO_2
   (4) CCl_4
   (5) NH_3

   yang merupakan molekul polar adalah ....
   a. (1) dan (2)
   b. (1) dan (3)
   c. (1) dan (5)
   d. (2) dan (4)
   e. (3) dan (5)

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan tepat!

1. Emas merupakan salah satu unsur logam mulia. Sifat mulia ini karena unsur emas bersifat stabil (tidak mudah bereaksi). Karena nilai komersial dan kilapnya yang menarik maka emas banyak digunakan sebagai perhiasan. Kadar emas di dalam perhiasan umumnya disebut dengan karat, seperti emas 24 karat, 23 karat, 22 karat, dan seterusnya. Berkurangnya nilai karat ini menandakan bertambahnya jumlah unsur logam lain selain emas yang ditambahkan untuk membuat campuran perhiasan emas tersebut. Semakin kecil nilai karatnya biasanya akan menghasilkan perhiasan dengan bentuk yang lebih variatif dibandingkan emas 24 karat. Mengapa demikian?

2. Gas hidrogen merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Negara Jepang telah lama mengembangkan kendaraan berbahan bakar hirogen untuk mengurangi emisi gas berbahaya kendaraan bermotor. Jika menggunakan hidrogen maka emisinya berupa H_2O, bukan CO_2 dan CO yang dihasilkan dari bahan bakar hidrokarbon. Namun, gas hidrogen merupakan gas yang sangat reaktif dan mudah meledak sehingga lebih aman disimpan dalam wujud cair pada stasiun pengisian bahan bakar. Bagaimanakah gaya antarmolekul yang terjadi pada hidrogen sehingga dapat berwujud cair?

3. Atom sulfur dapat berikatan kovalen dengan atom F dan memenuhi kaidah oktet untuk membentuk molekul SF_2. Lebih lanjut, atom sulfur juga dapat membentuk molekul SF_4 dan SF_6 yang stabil meskipun tidak memenuhi kaidah oktet. Meskipun memiliki atom pusat dan atom terikat yang sama, molekul SF_2 bersifat polar, sementara molekul SF_6 bersifat nonpolar. Mengapa ini dapat terjadi?

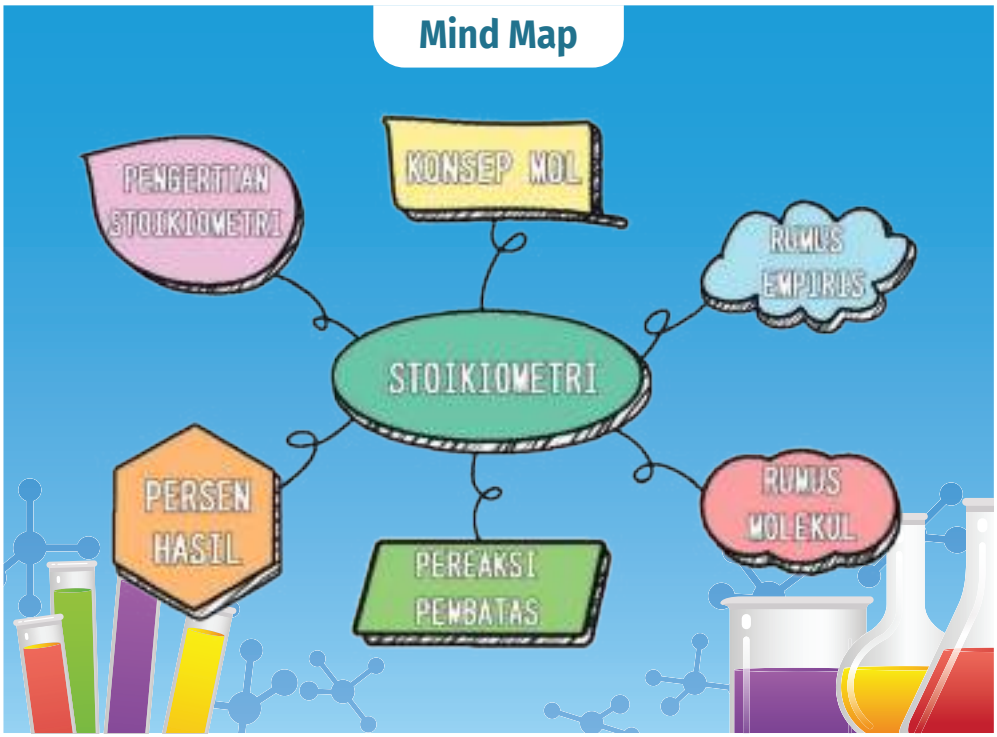
KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022
Kimia untuk SMA/MA Kelas XI
Penulis : Munasprianto Ramli, dkk.
ISBN : 978-602-427-923-3 (jil.1)



Bab III
Stoikiometri

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menjelaskan pengertian stoikiometri, menyetarakan persamaan reaksi, menggunakan konsep mol dalam perhitungan, menentukan rumus molekul dan rumus empiris, menentukan pereaksi pembatas, menghitung persen hasil dari suatu reaksi kimia, serta memahami stokiometri dalam kehidupan sehari-hari.

Mind Map



Komik Kimia



Apakah kalian suka jajanan tradisional Indonesia? Sebagai anak bangsa tentunya kita harus mencintai produk dalam negeri, termasuk makanan tradisional. Indonesia adalah negara yang sangat kaya dengan ragam makanan tradisional, salah satunya adalah kue pancong.

Kue pancong adalah kue tradisional dari Betawi. Berbentuk setengah lingkaran dengan rasa gurih dan manis. Kue ini cocok dijadikan kudapan pagi dan sore hari. Selain di Jakarta, kue pancong juga dapat ditemukan di beberapa daerah lainnya dengan nama yang berbeda. Misalnya di Bandung, kue ini disebut bandros, di Jawa Tengah dan Yogyakarta disebut serabi rangi, dan di Bali kue ini dinamai haluman (Ensiklopedia Indonesia).

Kali ini, kalian akan belajar perhitungan kimia menggunakan analogi resep kue tradisional Indonesia, yaitu pancong. Mari perhatikan resep kue pancong berikut ini.



Gambar 3.1 Resep kue pancong

Mari kita coba menuliskan resep di atas dalam bentuk hubungan reaktan dan produk. Dengan mengabaikan garam dan gula maka kita akan mendapatkan persamaan berikut.

300 g tepung beras + 800 ml santan + 400 g kelapa parut ⟶ 100 buah kue pancong

Persamaan tersebut dapat kita sederhanakan menjadi:

3 g tepung beras + 8 ml santan + 4 g kelapa parut ⟶ 1 buah kue pancong

Tepung beras, santan, dan kelapa parut dalam stoikiometri yang akan kalian pelajari disebut sebagai reaktan, sedangkan kue pancong sebagai produk. Namun, dalam stoikiometri, kita tidak menulis reaktan dan produk dalam bentuk bahan masakan, melainkan rumus kimia.

Kita akan menggunakan kembali resep kue pancong ini dalam aplikasi stoikiometri, khususnya pada bagian pereaksi pembatas dan persen hasil.

A. Pengertian Stoikiometri

Stoikiometri berasal dari bahasa Yunani, *stoicheion* yang berarti unsur dan *metron* yang berarti pengukuran, sehingga stoikiometri bisa diartikan pengukuran atau perhitungan matematis dari reaktan dan produk sebuah reaksi kimia. Sederhananya, stoikiometri adalah hubungan kuantitatif antara reaktan dan produk dalam sebuah reaksi kimia.

Kalian akan dapat melakukan perhitungan matematika dari sebuah reaksi kimia dengan memahami stoikiometri. Massa, volume, dan jumlah zat yang terlibat dalam reaksi kimia dapat kalian hitung dengan melihat hubungan antara reaktan dan produk dengan menggunakan informasi-informasi yang tersedia. Untuk dapat melakukan perhitungan tersebut, kalian harus terampil dalam menyetarakan persamaan reaksi kimia. Penyetaraan persamaan reaksi kimia sudah kalian pelajari dalam pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam kelas X. Untuk mengasah kembali keterampilan kalian dalam menyetarakan persamaan reaksi, coba kerjakan latihan berikut ini.



Ayo Berlatih

Setarakan persamaan reaksi berikut ini!

1. $C_3H_8 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$
2. $Al + O_2 \longrightarrow Al_2O_3$
3. $P_4O_{10} + H_2O \longrightarrow H_3PO_4$
4. $Fe_2(SO_4)_3 + KOH \longrightarrow K_2SO_4 + Fe(OH)_3$
5. $Ca_3(PO_4)_2 + SiO_2 \longrightarrow P_4O_{10} + CaSiO_3$

6. $Al_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Al(OH)_3 + CaSO_4$
7. $NH_3 + O_2 \longrightarrow NO + H_2O$
8. $NH_4OH + KAl(SO_4)_2.12H_2O \longrightarrow Al(OH)_3 + (NH_4)_2SO_4 + KOH + H_2O$

Prinsip penyetaraan persamaan reaksi

Prinsip penyetaraan persamaan reaksi adalah jumlah atom yang ada pada sisi kiri (reaktan) harus sama dengan jumlah atom pada sisi kanan (produk).

Mari perhatikan reaksi berikut.

$$H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O$$

Apakah persamaan reaksi di atas sudah setara? Coba kita cek jumlah atom di sisi reaktan dan produk.

Atom	Jumlah atom di sisi kiri (reaktan)	Jumlah atom di sisi kanan (produk)
Hidrogen (H)	2	2
Oksigen (O)	2	1

Jumlah atom H di sisi reaktan sudah sama dengan jumlah atom H di sisi produk, tetapi jumlah atom O di sisi kiri dan kanan berbeda. Dengan demikian, kita katakan reaksi kimia tersebut ***belum setara***.

Seperti yang sudah kalian pelajari di kelas X, untuk menyetarakan persamaan reaksi tersebut, kalian perlu menambahkan angka (koefisien) di depan unsur atau senyawa agar jumlah atom-atom di sisi reaktan dan produk sama. Kembali ke persamaan reaksi yang belum setara di atas, jika kita menambahkan koefisien, persamaan reaksinya menjadi:

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

Mari kita cek kembali jumlah atom hidrogen dan oksigen di sisi reaktan dan produk.

Atom	Jumlah atom di sisi kiri (reaktan)	Jumlah atom di sisi kanan (produk)
Hidrogen (H)	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 2 = 4$
Oksigen (O)	$1 \times 2 = 2$	$2 \times 1 = 2$

Setelah kita cek ulang, ternyata jumlah atom hidrogen di sisi kiri sudah sama dengan sisi kanan, begitu juga dengan atom oksigen. Dengan demikian, bisa kita katakan bahwa reaksi tersebut sudah ***setara***.

B. Konsep Mol

Selain terampil dalam menyetarakan reaksi kimia, kalian juga harus paham dengan konsep mol. Hal ini juga sudah kalian pelajari di kelas X. Bagi kalian yang lupa pengertian mol, mol adalah satuan yang digunakan untuk menunjukkan jumlah zat.

Kalau kita membeli sepatu biasanya dinyatakan dengan satuan pasang, misal dua pasang sepatu. Kalau kita membeli piring, biasanya digunakan satuan lusin (isi 12 buah). Lebih banyak lagi, kalau kita membeli kertas, digunakan satuan rim (isi 500 lembar). Nah, bagaimana menghitung banyaknya partikel? Satuan apa yang digunakan? Karena partikel ini sangat kecil dan jumlahnya sangatlah banyak maka untuk mempermudah perhitungan jumlah partikel, para ahli menyepakati satuan yang digunakan adalah mol. Berapa banyaknya partikel dalam satu mol?

Satu mol menunjukkan banyaknya partikel yang terkandung dalam suatu unsur, ion, molekul, atau senyawa yang jumlahnya sama dengan jumlah partikel dalam 12 gram atom C-12, seperti yang sudah kalian pelajari di kelas X. Jumlah partikel dalam satu mol adalah $6{,}022 \times 10^{23}$, yang dikenal juga sebagai bilangan Avogadro.

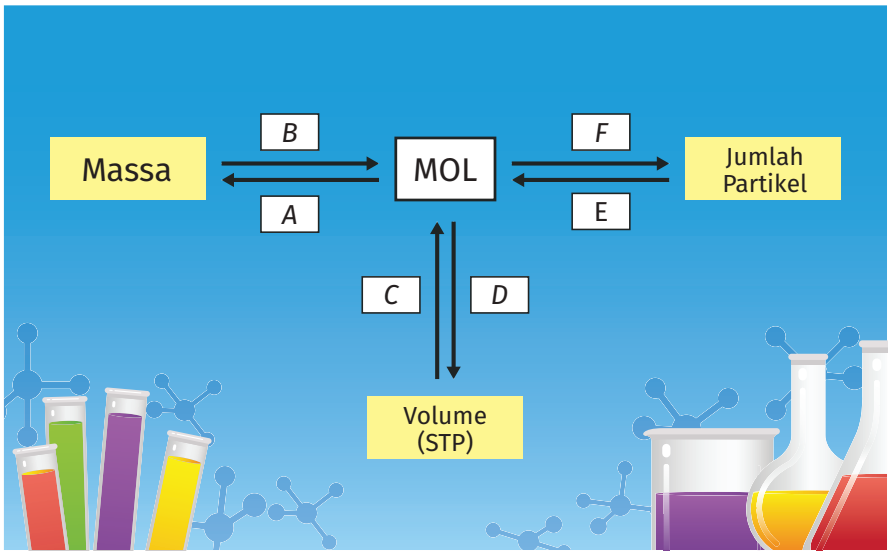
Untuk mengingat kembali konsep mol yang sudah kalian pelajari di kelas X, mari lakukan aktivitas berikut ini.



Aktivitas 3.1

Isilah kotak-kotak berikut ini untuk menunjukkan hubungan antara mol dengan massa, volume, dan jumlah partikel!

A		C		E	
B		D		F	



Contoh

1. Hitunglah massa dari 0,1 mol gas karbon dioksida!

   Diketahui: 0,1 mol karbon dioksida
   Ditanya: massa gas karbon dioksida
   Jawab:
   Massa CO_2 = mol × massa molar CO_2
   = 0,1 mol × 44 $g.mol^{-1}$
   = 4,4 g

2. Hitunglah jumlah mol dari 18 gram air!

   Diketahui: massa air 18 gram
   Ditanya: mol air
   Jawab:

   $$\text{Mol air} = \frac{\text{massa}}{\text{massa molar}} = \frac{18\ \text{g}}{18\ \text{g.mol}^{-1}} = 1\ \text{mol}$$

3. Berapakah jumlah mol dari 11,2 liter gas hidrogen pada kondisi *standard temperature and pressure* (suhu 273 K dan tekanan 1 atm)?

   Diketahui: volume hidrogen pada STP 11,2 liter
   Ditanya: mol hidrogen

Jawab:

$$\text{Mol hidrogen} = \frac{\text{volume pada STP}}{22{,}4\ \text{l.mol}^{-1}} = \frac{11{,}2\ \text{l}}{22{,}4\ \text{l.mol}^{-1}} = 0{,}5\ \text{mol}$$

Ayo Berlatih

Apakah kalian sudah paham dengan hubungan antara mol dengan jumlah zat, massa, dan volume? Coba kerjakan latihan berikut ini!

1. Hitunglah jumlah mol dari 28 gram besi!
2. Berapakah massa dari 1,5 mol gas klorin?
3. Berapakah jumlah mol dari 10 liter gas hidrogen pada kondisi STP?
4. Massa dari 5 mol senyawa X adalah 10 gram. Hitunglah massa molar dari senyawa tersebut!

C. Rumus Molekul dan Rumus Empiris



Setiap senyawa kimia dinyatakan dengan rumus kimia yang menunjukkan jenis dan jumlah relatif atom-atom yang menyusun senyawa tersebut. Rumus kimia ini dapat dinyatakan dalam bentuk rumus molekul dan rumus empiris. Rumus molekul menunjukkan jumlah sebenarnya dari atom yang menyusun

molekul senyawa. Misalnya air (H_2O), setiap molekul air tersusun oleh 2 atom hidrogen dan 1 atom oksigen. Contoh lainnya adalah gas metana (CH_4). Setiap molekul metana disusun oleh 1 atom karbon dan 4 atom hidrogen.

Rumus empiris menunjukkan perbandingan paling sederhana dari jumlah atom-atom yang menyusun molekul suatu senyawa. Misalnya benzena yang mempunyai rumus molekul C_6H_6. Perbandingan atom C dan H yang menyusunnya adalah 1 : 1, sehingga rumus empirisnya adalah CH.



Aktivitas 3.2

Berdiskusilah dengan teman sebangku atau kelompokmu untuk mengisi tabel berikut ini.

Senyawa	Massa molar	Rumus molekul	Rumus empiris
Hidrogen peroksida	34 $g.mol^{-1}$	....	HO
Butana	....	C_4H_{10}	....
Naftalen	....	$C_{10}H_8$	....
Asam asetat	....	$C_2H_4O_2$	....

Catatan: untuk mengisi massa molar, kalian bisa lihat dalam tabel periodik unsur pada Bab 1, halaman 16.

Rumus empiris dapat ditemukan dari data percobaan, sedangkan rumus molekul diketahui dengan menggunakan instrumentasi kimia. Kita dapat menentukan rumus molekul jika mengetahui massa molekul relatif suatu senyawa dan rumus empirisnya. Berikut adalah langkah-langkah dalam menentukan rumus empiris dari suatu senyawa.

Cara menentukan rumus empiris:

1. Menghitung massa dari atom-atom penyusun molekul.
2. Menghitung mol dari masing-masing atom yang menyusun molekul.
3. Menghitung rasio mol dari atom-atom penyusun molekul.
4. Menentukan rumus empiris berdasarkan rasio atom-atom penyusunnya.

Cara menentukan rumus molekul:

Rumus molekul bisa ditentukan jika kita mengetahui dua hal, yaitu rumus empiris dan massa molekul relatif (M_r). Pada uraian sebelumnya telah dibahas bahwa rumus empiris menunjukkan perbandingan paling sederhana dari atom-atom penyusun suatu molekul. Secara matematis, kita bisa nyatakan dalam bentuk persamaan:

$$\text{Rumus molekul} = \text{rumus empiris} \times N$$

$$\text{dengan } N = \frac{\text{massa molekul relatif}}{\text{massa molekul relatif dari rumus empiris}}$$

Dengan kata lain, N adalah bilangan bulat sederhana yang menunjukkan perbandingan M_r berdasarkan rumus molekul dan M_r berdasarkan rumus empiris.



Contoh

1. Tentukan rumus empiris dari senyawa yang disusun oleh 75% karbon dan 25% hidrogen!

   Jawab:
   Langkah 1, menentukan massa karbon dan hidrogen.
   Kita asumsikan massa senyawa 100 gram, maka massa karbon dan hidrogen adalah:
   Massa karbon = 75% × 100 g = 75 g
   Massa hidrogen = 25% × 100 g = 25 g

   Langkah 2, menentukan mol karbon dan hidrogen.

   $$\text{Mol karbon} = \frac{\text{massa karbon}}{A_r \text{ karbon}} = \frac{75 \text{ g}}{12 \text{ g.mol}^{-1}} = 6{,}25 \text{ mol}$$

   $$\text{Mol hidrogen} = \frac{\text{massa hidrogen}}{A_r \text{ hidrogen}} = \frac{25 \text{ g}}{1 \text{ g.mol}^{-1}} = 25 \text{ mol}$$

   Langkah 3, menentukan rasio mol karbon dan hidrogen.
   Mol karbon : mol hidrogen = 6,25 mol : 25 mol
   = 1 : 4
   Dari rasio tersebut maka rumus empirisnya adalah CH_4.

2. Suatu senyawa memiliki massa molar 120 g.mol^{-1}. Senyawa tersebut diketahui mengandung 40% atom C, 6,67% atom H, dan 53,33% atom O. Tentukan rumus molekul dari senyawa tersebut!

Jawab:
Langkah 1, menentukan rumus empiris dari senyawa.
Kita dapat menentukan rumus empiris dengan menggunakan tabel seperti di bawah ini.

Atom	A_r (g.mol^{-1})	Persen massa (%)	Massa dalam 100 g	Mol	Perbandingan mol
Karbon	12	40	40	$\frac{40}{12} = 3{,}33$	1
Hidrogen	1	6,67	6,67	$\frac{6{,}67}{1} = 6{,}67$	2
Oksigen	16	53,33	53,33	$\frac{53{,}33}{16} = 3{,}33$	1

Jadi, rumus empiris dari senyawa di atas adalah CH_2O.

Langkah 2, menentukan rumus molekul dari rumus empiris dan massa molar.
Rumus molekul = rumus empiris × N

$$N = \frac{\text{massa molar dari molekul yang akan dicari}}{\text{massa molar molekul dari rumus empiris}}$$

$$= \frac{120 \text{ g.mol}^{-1}}{(12 + 2 + 16) \text{ g.mol}^{-1}}$$

$$= \frac{120}{30}$$

$$= 4$$

Setiap atom yang menyusun rumus empiris, kita kalikan 4 sehingga rumus molekul senyawa tersebut adalah $C_4H_8O_4$.



Ayo Berlatih

Mari cek pemahaman kalian dengan mengerjakan latihan berikut ini.

1. Tentukan rumus empiris dari senyawa yang disusun oleh:
   a. 63,6% besi dan 36,4% belerang
   b. 53,3% oksigen, 40% karbon, dan 6,7% hidrogen

2. Polimer adalah senyawa berbentuk rantai molekul panjang dan berulang yang dihubungkan oleh ikatan kovalen melalui proses polimerisasi. Polimer sangat banyak kegunaannya dalam kehidupan, misalnya bahan kaos, panci antilengket, dan pipa PVC. Tentukan rumus empiris dari polimer berikut ini!
   a. Polietilen yang tersusun atas 86% karbon dan 14% hidrogen
   b. Polistiren yang tersusun dari 92,3% karbon dan 7,7% hidrogen

3. Untuk diversifikasi produk, sebuah produsen pewarna tekstil mengembangkan zat warna baru. Zat warna ini memiliki komposisi 75,95% C, 17,72% N, dan 6,33% H. Tentukan rumus molekul dari zat warna ini jika massa molarnya adalah 480 $g.mol^{-1}$!

D. Pereaksi Pembatas

Suatu reaksi kimia, tidak selalu senyawa-senyawa yang bereaksi akan habis secara bersamaan. Ada kalanya sebuah reaktan habis lebih dahulu, sementara reaktan lainnya masih bersisa. Reaktan yang sudah habis ketika reaktan lain masih bersisa disebut sebagai **pereaksi pembatas**. Pereaksi pembatas ini akan membatasi jumlah produk yang dihasilkan.

Mari pahami konsep pereaksi pembatas ini dengan menganalogikan kembali perhitungan pada resep kue pancong yang ada di awal bab. Penggunaan garam dan gula dalam resep ini juga diabaikan.



Gambar 3.2 Jumlah bahan yang tersedia dalam membuat kue pancong

Ada tiga bahan utama dalam pembuatan kue pancong ini, yaitu tepung beras, santan, dan kelapa parut. Mari kita lihat ketersediaan dan kebutuhan bahan-bahan tersebut.

	Tepung beras	Santan	Kelapa parut
Resep	300 g	800 ml	400 g
Tersedia	500 g	1 liter	600 g

Pertama, kita lihat kebutuhan santan dan kelapa parut dari ketersediaan tepung beras.
Jika semua tepung beras yang tersedia digunakan untuk membuat kue maka santan yang dibutuhkan adalah $\frac{500\ g}{300\ g} \times 800$ ml = 1,33 liter. Sementara santan yang tersedia hanya 1 liter.

Adapun kelapa parut yang dibutuhkan adalah $\frac{500\ g}{300\ g} \times 400$ g = 666,67 g. Sementara yang tersedia hanya 600 g.

Dari kedua perhitungan ini, artinya tepung beras tidak mungkin sebagai pereaksi pembatas karena justru tersedia berlebih.

Kedua, kita lihat kebutuhan tepung beras dan santan dari ketersediaan kelapa parut.

Jika semua kelapa parut yang tersedia digunakan untuk membuat kue maka tepung beras yang dibutuhkan adalah $\frac{600\ g}{400\ g} \times 300\ g = 450\ g$. Tepung beras yang tersedia lebih dari yang dibutuhkan, sehingga tepung beras tidak mungkin menjadi pereaksi pembatas.

Adapun santan yang dibutuhkan adalah $\frac{600\ g}{400\ g} \times 800\ ml = 1{,}2$ liter. Sementara santan yang tersedia hanya 1 liter.

Jadi, santan akan habis lebih dahulu dibandingkan dengan kelapa parut dan tepung beras, sehingga dapat dikatakan santan adalah pereaksi pembatas. Untuk pembuktian, mari perhatikan hitungan di bawah ini.

Ketiga, kita lihat kebutuhan tepung beras dan kelapa parut dari ketersediaan santan.
Jika santan yang tersedia 1 liter maka tepung beras yang dibutuhkan adalah $\frac{1.000\ g}{800\ g} \times 300\ g = 375\ g$.
Tepung beras yang tersedia adalah 500 gram, lebih banyak dari yang dibutuhkan, sehingga ketika santan habis, tepung beras masih bersisa.

Adapun kelapa parut yang dibutuhkan adalah $\frac{1.000\ g}{800\ g} \times 400\ g = 500\ g$.

Kelapa parut yang tersedia adalah 600g, juga lebih banyak dari yang dibutuhkan, sehingga ketika santan habis, kelapa parut juga masih bersisa.
Artinya, di sini santan berperan sebagai pereaksi pembatas karena santan habis lebih dahulu, sementara tepung beras dan kelapa parut masih bersisa.

Coba kalian perhatikan perbandingan ketersediaan bahan dengan kebutuhan resep berdasarkan bahan-bahan yang dimiliki oleh Dono dan Dona pada tabel berikut ini.

Reaktan	Perbandingan ketersediaan dan kebutuhan resep
Tepung beras	$\frac{500}{300} = 1{,}67$
Kelapa parut	$\frac{600}{400} = 1{,}5$
Santan	$\frac{1.000}{800} = \mathbf{1{,}25}$

Dari tabel tersebut tampak bahwa pereaksi pembatas adalah reaktan yang memiliki nilai perbandingan ketersediaan dan kebutuhan resep yang terkecil. Bagaimana dengan reaksi kimia yang sesungguhnya? Coba simak contoh perhitungan berikut ini.

Sebanyak 5,4 gram aluminium direaksikan dengan 7,1 gram gas klorin menurut reaksi:

$2Al(s) + 3Cl_2(g) \longrightarrow 2AlCl_3(s)$

Zat manakah yang berperan sebagai pereaksi pembatas?

Pertama, mari kita hitung mol dari Al dan Cl_2 yang tersedia.

$$\text{Mol Al} = \frac{\text{massa Al}}{\text{massa molar Al}} = \frac{5{,}4\ \text{g}}{27\ \text{g.mol}^{-1}} = 0{,}2\ \text{mol}$$

$$\text{Mol } Cl_2 = \frac{\text{massa } Cl_2}{\text{massa molar } Cl_2} = \frac{7{,}1\ \text{g}}{71\ \text{g.mol}^{-1}} = 0{,}1\ \text{mol}$$

Kedua, mari kita lihat kebutuhan Al dari ketersediaan Cl_2.

Cl_2 yang tersedia adalah 0,1 mol. Jika semua Cl_2 yang tersedia digunakan untuk bereaksi, maka Al yang diperlukan adalah $\frac{2}{3} \times 0{,}1$ mol = 0,067 mol. Artinya, Al yang tersedia melebihi dari yang dibutuhkan sehingga Al akan bersisa. Zat yang bersisa tidak mungkin berperan sebagai pereaksi pembatas. Zat yang habis bereaksilah yang berperan sebagai pereaksi pembatas, sehingga pada reaksi di atas, pereaksi pembatasnya adalah gas klorin.

Mari kita lihat perbandingan ketersediaan Al dan Cl_2 terhadap koefisien reaksi.

Reaktan	Perbandingan ketersediaan dan koefisien reaksi
Aluminium	$\frac{0{,}2}{2} = 0{,}1$
Gas klorin	$\frac{0{,}1}{3} = \mathbf{0{,}033}$

Apa yang dapat kalian simpulkan?

Dari tabel terlihat bahwa perbandingan mol gas klorin terhadap koefisiennya lebih kecil dari perbandingan mol aluminium terhadap koefisiennya. Dengan demikian, untuk menentukan zat atau senyawa yang berfungsi sebagai pereaksi pembatas, bisa kita hitung dari nilai perbandingan mol terhadap koefisiennya.

Contoh

Gas manakah yang berperan sebagai pereaksi pembatas jika 8 gram gas metana direaksikan dengan 16 gram gas oksigen menurut reaksi berikut?

$$CH_4 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

Jawab:

Langkah 1, menyetarakan reaksi.

Reaksi di atas belum setara karena jumlah atom-atom di sisi reaktan dan sisi produk belum sama. Oleh karena itu, kita harus setarakan reaksi, yaitu:

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$$

Langkah 2, menghitung perbandingan mol terhadap koefisien.

Gas	Massa	Mol = $\frac{\text{massa}}{M_r}$	Koefisien	$\frac{\text{mol}}{\text{koefisien}}$
CH_4	8 g	$\frac{8\ g}{16\ g.mol^{-1}} = 0{,}5$ mol	1	$\frac{0{,}5}{1} = 0{,}5$
O_2	12 g	$\frac{16\ g}{32\ g.mol^{-1}} = 0{,}5$ mol	2	$\frac{0{,}5}{2} = \mathbf{0{,}25}$

Dari tabel di atas terlihat bahwa perbandingan mol terhadap koefisien gas oksigen lebih kecil dari gas metana, sehingga kita bisa simpulkan bahwa gas oksigen berperan sebagai pereaksi pembatas.



Dalam industri kimia, konsep pereaksi pembatas diperlukan untuk mendapatkan hasil optimal dengan biaya yang minimal. Produsen akan memilih bahan kimia yang paling mahal untuk berperan sebagai pereaksi pembatas dan bahan yang lebih murah sebagai bahan yang bersisa. Hal ini untuk memastikan bahwa semua bahan yang mahal tersebut habis dalam reaksi.



Ayo Berlatih

Mari cek pemahaman kalian tentang pereaksi pembatas dengan mengerjakan latihan berikut ini.

1. Sebanyak 10,8 gram logam aluminium direaksikan dengan 49 gram asam sulfat menurut reaksi di bawah ini.
   $Al(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow Al_2(SO_4)_3(aq) + H_2(g)$
   a. Tentukan pereaksi pembatasnya.
   b. Hitunglah mol reaktan yang bersisa.
   c. Hitunglah volume gas H_2 yang dihasilkan pada keadaan STP.
2. Natrium hidroksida bereaksi dengan asam fosfat membentuk natrium fosfat dan air menurut reaksi berikut ini.
   $NaOH(aq) + H_3PO_4(aq) \longrightarrow Na_3PO_4(aq) + H_2O(l)$
   Diketahui sebanyak 80 gram natrium hidroksida beraksi dengan 98 gram asam fosfat.
   a. Tentukan senyawa yang berperan sebagai pereaksi pembatas.
   b. Hitunglah massa natrium fosfat yang terbentuk.

E. Persen Hasil

Kalian mungkin sering mendengar "kesempurnaan hanya milik Tuhan", begitu juga reaksi kimia. Sangat jarang sekali reaksi kimia menghasilkan produk 100% dan murni. Dalam praktiknya, banyak sekali reaksi kimia yang menghasilkan produk yang tidak sesuai jumlahnya dengan perkiraan berdasarkan persamaan reaksi.

Ada banyak aspek yang menyebabkan produk yang diperoleh tidak sesuai jumlahnya dengan perhitungan secara matematis, di antaranya:

1. Reaksi yang terjadi belum sepenuhnya selesai
2. Kesalahan saat penimbangan dan pengukuran reaktan
3. Kesalahan saat memindahkan reaktan
4. Bahan kimia yang digunakan tidak murni
5. Terbentuknya produk samping
6. Adanya pengotor yang menempel pada produk



Coba kalian perhatikan ilustrasi di atas. Setelah selesai memasak kue pancong dengan mengikuti takaran resepnya, ternyata Dono dan Dona hanya mendapatkan produk sebanyak 96 buah, padahal menurut resep mestinya mereka mendapatkan 100 buah. Dalam reaksi kimia, hasil yang diperoleh oleh Dono dan Dona ini disebut sebagai hasil aktual, sedangkan hasil yang diprediksi berdasarkan resep disebut hasil teoretis. Dengan membandingkan hasil aktual terhadap hasil teoretis, diperoleh persen hasil sebesar 96%.

$$\text{Persen hasil} = \frac{\text{hasil aktual}}{\text{hasil teoretis}} \times 100\%$$

Contoh

Seng dan belerang bereaksi membentuk seng sulfida menurut reaksi:

$Zn + S \longrightarrow ZnS$

Jika sebanyak 1 mol seng bereaksi dengan 1 mol sulfur dan di akhir reaksi seng sulfida yang diperoleh adalah 90 gram, hitunglah persen hasil dari reaksi ini!

Jawab:

Langkah 1, mengecek kesetaraan reaksi.

Koefisien reaksi adalah satu dan jumlah atom pada sisi reaktan dan sisi produk sudah sama, maka reaksi sudah setara.

Langkah 2, menghitung hasil teoretis.
Reaksi 1 mol seng dan 1 mol sulfur akan menghasilan 1 mol seng sulfida. Maka, kita dapat menghitung massa teoretis seng sulfida sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Massa ZnS} &= \text{mol} \times \text{massa molar} \\ &= 1 \text{ mol} \times 97 \text{ g.mol}^{-1} \\ &= 97 \text{ g}\end{aligned}$$

Jadi, hasil teoretis yang seharusnya diperoleh adalah 97 gram.

Langkah 3, menghitung persen hasil.
Persen hasil diperoleh dengan membandingkan hasil aktual terhadap hasil teoretis. Hasil aktual sesuai soal adalah 92 gram, sedangkan berdasarkan perhitungan hasil teoretisnya 97 gram, sehingga persen hasilnya adalah:

$$\begin{aligned}\text{Persen hasil} &= \frac{\text{hasil aktual}}{\text{hasil teoretis}} \times 100\% \\ &= \frac{92 \text{ g}}{97 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 95\%\end{aligned}$$

F. Persen Kemurnian

Seperti yang sudah disampaikan, salah satu penyebab tidak sesuainya jumlah produk reaksi kimia dengan perhitungan teoretis adalah ketidakmurnian bahan kimia yang tersedia. Jika kemurnian suatu bahan rendah maka persen hasil yang didapatkan juga rendah. Kadar kemurnian bahan kimia dinyatakan dengan persen kemurnian.

$$\text{Persen kemurnian} = \frac{\text{massa senyawa dalam sampel tidak murni}}{\text{massa sampel}} \times 100\%$$

Contoh

Sebanyak 6,4 gram sampel tembaga yang tidak murni dipanaskan dalam *burner* dan bereaksi dengan oksigen menghasilkan tembaga (II) oksida yang berwarna hitam menurut reaksi di bawah ini.

$2Cu(s) + O_2(g) \longrightarrow 2CuO(s)$

Jika di akhir reaksi diperoleh 6,8 gram tembaga oksida, hitunglah persen kemurnian dari tembaga!

Jawab:
Diketahui: massa sampel tembaga = 6,4 gram dan massa CuO = 6,8 gram
Mari kita hitung massa Cu dengan melihat hubungan stoikiometri dari reaksi kimianya.

Langkah 1, menghitung mol Cu dengan menggunakan stoikiometri.
Reaksi kimia yang terjadi adalah:

$$2Cu(s) + O_2(g) \longrightarrow 2CuO(s)$$

Perbandingan koefisien: 2 : 1 : 2

Dari perbandingan koefisien tersebut dapat kita ketahui bahwa mol CuO yang dihasilkan sama dengan jumlah mol Cu yang bereaksi, sehingga kita bisa menghitung mol Cu dari mol CuO sebagai berikut.

$$\text{Mol CuO} = \frac{\text{massa CuO}}{\text{massa molar CuO}}$$
$$= \frac{6{,}8\ \text{g}}{79{,}5\ \text{g.mol}^{-1}}$$
$$= 0{,}085\ \text{mol}$$

Mol Cu = mol CuO = 0,085 mol

Langkah 2, menghitung massa Cu.
Massa Cu = mol Cu × massa molar Cu
= 0,085 mol × 63,5 g.mol^{-1}
= 5,34 g

Langkah 3, menghitung persen kemurnian Cu.

$$\%\ \text{kemurnian Cu} = \frac{\text{massa Cu}}{\text{massa sampel}} \times 100\%$$
$$= \frac{5{,}34\ \text{g}}{6{,}4\ \text{g}} \times 100\%$$
$$= 83\%$$

Ayo Berlatih

1. Seorang siswa melakukan reaksi pengendapan. Secara teori, siswa tersebut seharusnya mendapatkan 19,5 gram endapan, tetapi selesai praktikum siswa tersebut hanya mendapatkan 18,5 gram. Hitunglah persen hasil berdasarkan percobaan yang dilakukan siswa tersebut!
2. Dono dan Dona mendapat tugas untuk melakukan percobaan reaksi pengendapan. Berdasarkan panduan yang diperoleh, mereka harus mereaksikan 10 gram barium nitrat yang dilarutkan dengan larutan natrium sulfat berlebih. Reaksi yang terjadi adalah:

   $Ba(NO_3)_2(aq) + Na_2SO_4(aq) \longrightarrow BaSO_4(s) + 2NaNO_3(aq)$

   Jika di akhir percobaan, Dono dan Dona mendapatkan 7,5 gram barium sulfat, hitung persen hasil dari percobaan yang mereka lakukan!

Pengayaan

Kompor Gas dan Pemanasan Global

Pernahkah kalian mendengar tentang rumah kaca? Rumah kaca adalah bangunan yang terbuat dari kaca, baik bagian dinding maupun atapnya, agar dapat memerangkap sinar matahari. Sinar matahari yang terperangkap akan membuat bangunan ini tetap hangat. Hal ini tentunya akan sangat bermanfaat bagi para petani yang tinggal di negara dengan empat musim. Di samping itu, para peneliti juga memanfaatkan rumah kaca untuk budidaya tanaman yang dimanfaatkan bagi penelitian.

Bagaimana dengan efek rumah kaca? Efek rumah kaca pada prinsipnya menjelaskan fenomena yang sama dengan rumah kaca. Cahaya matahari yang sampai ke atmosfer bumi, terperangkap di dalam atmosfer akibat adanya lapisan gas yang terbentuk dari aktivitas manusia. Hal ini menyebabkan suhu bumi meningkat setiap tahunnya, atau disebut juga dengan pemanasan global. Gas-gas yang membuat energi dari sinar matahari ini terperangkap di atmosfer bumi dan berkontribusi terhadap pemanasan global disebut dengan gas rumah kaca, salah satunya karbon dioksida.



Jumlah emisi karbon dioksida di atmosfer bumi tentu tidak terlepas dari aktivitas rumah tangga. Di Indonesia misalnya, sebagian besar warga menggunakan elpiji (*liquefied petroleum gas*, LPG) untuk memasak. Kalau setiap rumah menggunakan elpiji, bisa dibayangkan berapa banyak emisi gas karbon dioksida yang dilepaskan ke udara dan menjadi petaka karena menyebabkan pemanasan global.

Studi Kasus

Di Desa Sukamulia terdapat 2.500 rumah. Setiap rumah mengonsumsi 3 kg gas elpiji setiap minggunya. Jika gas elpiji ini terdiri atas 50% gas propana dan 50% gas butana, hitunglah berapa banyak emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari aktivitas dapur warga Desa Sukamulia dengan asumsi pembakaran berlangsung sempurna.

Reaksi yang terjadi:

Pembakaran propana: $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(l)$

Pembakaran butana: $2C_4H_{10}(g) + 13O_2(g) \longrightarrow 8CO_2(g) + 10H_2O(l)$

Inti Sari

Stoikiometri adalah hubungan kuantitatif antara reaktan dan produk dalam sebuah reaksi kimia. Sebelum melakukan perhitungan stoikiometri, harus dipastikan reaksi kimia sudah setara. Dalam perhitungan stoikiometri, membutuhkan pemahaman tentang konsep mol. Massa, volume, dan jumlah partikel dapat ditentukan melalui konsep mol.

Dengan mempelajari stoikiometri, kalian juga dapat menentukan rumus molekul dan rumus empiris. Rumus molekul adalah jumlah sebenarnya dari atom-atom yang menyusun molekul senyawa, sedangkan rumus empiris adalah perbandingan paling sederhana dari jumlah atom-atom yang menyusun molekul suatu senyawa.

Stoikiometri juga sangat erat kaitannya dengan dunia industri. Dalam praktiknya, pelaku industri akan menjadikan bahan kimia yang mahal sebagai pereaksi pembatas. Pereaksi pembatas adalah reaktan yang habis terlebih dahulu ketika reaktan lain masih bersisa sehingga membatasi jumlah produk yang dihasilkan.

Pelaku industri juga menghitung persen hasil untuk mengetahui optimalisasi dari produksi yang mereka lakukan. Persen hasil adalah persentase produk yang diperoleh dengan membandingkan hasil aktual terhadap hasil teoretis. Mereka juga mempertimbangkan persen kemurnian dari bahan baku yang dipergunakan untuk kegiatan produksi. Persen kemurnian adalah persentase yang menunjukkan perbandingan antara massa sesungguhnya dari unsur atau senyawa terhadap massa sampel.

Ayo Refleksi

Setelah mempelajari materi Stoikiometri, silakan kalian merefleksi diri. Berilah ceklis (√) pada kolom Ya/Tidak untuk pernyataan di bawah ini.

No.	Pernyataan	Tanggapan	
		Ya	Tidak
1.	Saya dapat memahami pengertian stoikiometri.		
2.	Saya dapat menyetarakan persamaan reaksi.		
3.	Saya dapat menggunakan konsep mol dalam perhitungan dengan mengubah mol menjadi massa, volume, dan jumlah partikel atau sebaliknya.		
4.	Saya dapat menentukan rumus empiris dan rumus molekul berdasarkan data yang disediakan.		
5.	Saya dapat menentukan pereaksi pembatas.		
6.	Saya dapat menghitung persen hasil dari sebuah reaksi kimia.		

Menurut kalian, materi manakah yang sulit untuk dipahami dalam bab Stoikiometri? Jelaskan alasannya!

Ayo Cek Pemahaman

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Diketahui reaksi:
   $a\text{H}_2\text{SO}_4(aq) + b\text{KOH}(aq) \longrightarrow c\text{K}_2\text{SO}_4(aq) + d\text{H}_2\text{O}(l)$
   Nilai $a : d$ adalah ....
   a. 1 : 2
   b. 1 : 1
   c. 2 : 1
   d. 1 : 4
   e. 4 : 1

2. Jumlah molekul dari 3,2 gram SO_2 adalah ....
   a. $6{,}022 \times 10^{20}$ molekul
   b. $3{,}011 \times 10^{21}$ molekul
   c. $1{,}005 \times 10^{22}$ molekul
   d. $3{,}011 \times 10^{22}$ molekul
   e. $6{,}022 \times 10^{23}$ molekul

3. Reaksi di bawah ini yang belum setara adalah ....
   a. $Ba_3N_2 + 6H_2O \longrightarrow 3Ba(OH)_2 + 2NH_3$
   b. $3CaCl_2 + 2Na_3PO_4 \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 6NaCl$
   c. $4FeS + 7O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3 + 4SO_2$
   d. $PCl_5 + 4H_2O \longrightarrow H_3PO_4 + 5HCl$
   e. $2As + 3NaOH \longrightarrow 2Na_3AsO_3 + 3H_2$

4. Sebanyak 10 gram glukosa mengalami reaksi pembakaran menurut reaksi berikut.
   $C_6H_{12}O(s) + 6O_2(g) \longrightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l)$
   Massa dari karbon dioksida yang dihasilkan adalah ....
   a. 5 gram
   b. 10 gram
   c. 15 gram
   d. 20 gram
   e. 25 gram

5. Rumus empiris dari senyawa yang terdiri atas 45,1% nitrogen, 38,8% karbon, dan 16,1% hidrogen adalah ....
   a. CH_3N
   b. CH_4N
   c. CH_5N
   d. CH_2N_2
   e. C_2H_4N

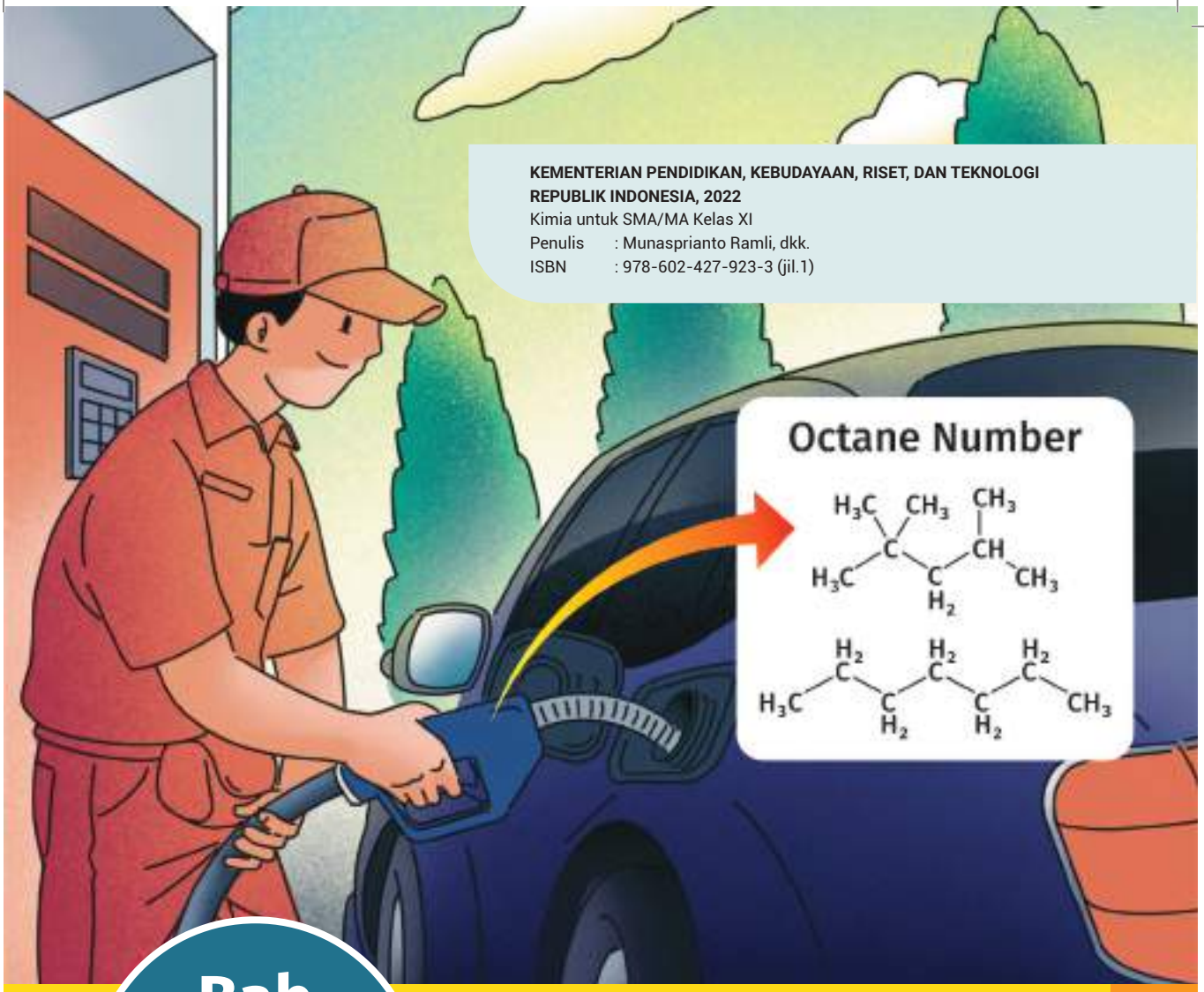
Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan tepat!

1. Sebanyak 3,2 gram metana dibakar dengan 8 gram gas oksigen menurut reaksi:
   $CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$
   Hitunglah massa dari gas karbon dioksida yang dihasilkan!

2. Poliakrilonitril atau disebut juga dengan orlon adalah polimer adisi berupa serat sintetis yang sangat kuat. Orlon banyak dimanfaatkan sebagai karpet dan bahan pakaian. Tentukan rumus empiris dari orlon jika kandungannya adalah 67,9% C, 26,4% N, dan 5,70% H!

3. Sebelum pergi ke pantai atau bepergian pada hari yang terik, di antara kalian biasanya mengoleskan tabir surya ke wajah dan badan. Salah satu senyawa yang terdapat dalam tabir surya adalah asam para-aminobenzoat. Asam para-aminobenzoat ini mampu melindungi kulit dari radiasi sinar ultraviolet. Jika asam para-aminobenzoat ini tersusun atas 61,31% karbon, 23,34% oksigen, 10,21% nitrogen, dan 5,14% hidrogen, tentukanlah rumus empirisnya!

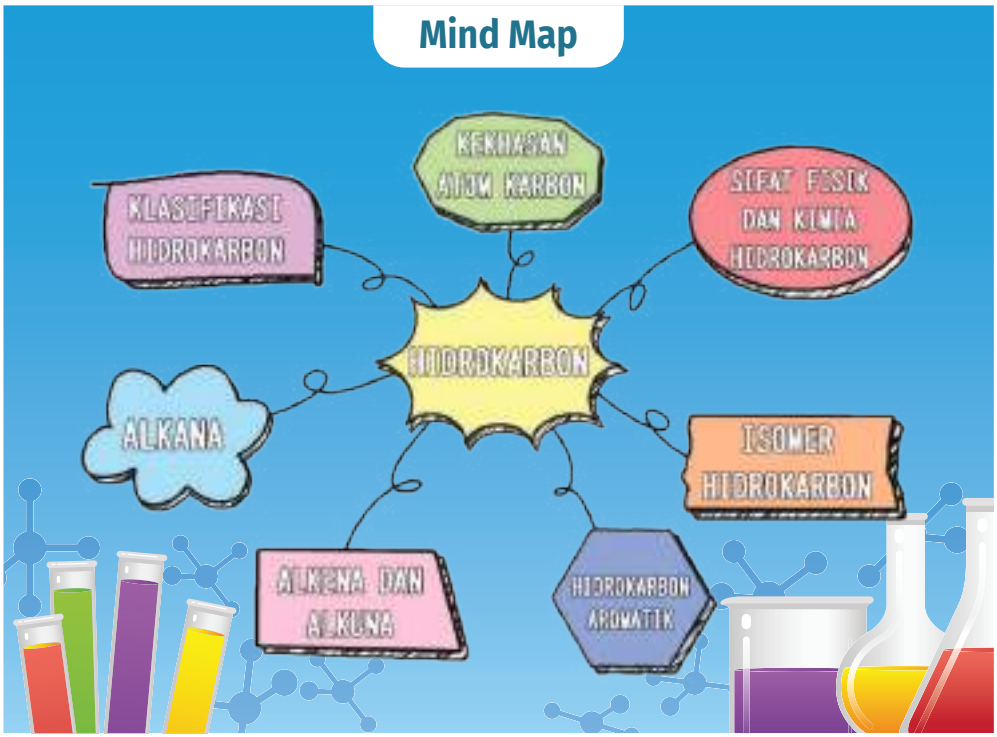
KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022
Kimia untuk SMA/MA Kelas XI
Penulis : Munasprianto Ramli, dkk.
ISBN : 978-602-427-923-3 (jil.1)



Bab IV Hidrokarbon

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat memahami tentang kekhasan atom karbon, klasifikasi hidrokarbon, alkana, alkena, alkuna, dan hidrokarbon aromatik, serta dampak penggunaan bahan bakar hidrokarbon melalui berbagai aktivitas.

Mind Map



Komik Kimia



Tahukah kalian apa saja jenis bahan bakar yang sering digunakan? Ibu kalian atau kalian sendiri menggunakan gas elpiji untuk memasak. Alat transportasi yang kita gunakan seperti motor dan mobil menggunakan bensin, kereta api menggunakan batu bara atau diesel, dan pesawat menggunakan avtur sebagai bahan bakar. Bahan bakar sudah menjadi kebutuhan pokok untuk kehidupan manusia saat ini. Tahukah kalian bahwa semua bahan bakar tersebut tergolong jenis hidrokarbon?

Aktivitas 4.1

Untuk mengetahui bahan bakar yang paling banyak digunakan oleh manusia, silakan kalian baca artikel dengan memindai *QR-code* di samping.

https://www.kompas.com/skola/read/2022/02/26/160538369/bahan-bakar-fosil-yang-paling-banyak-di-dunia



Gambar 4.1 Berbagai bahan bakar yang sering digunakan

Pada bab ini kalian akan belajar mengenai hidrokarbon melalui berbagai cara dan aktivitas. Mari ikuti pembelajarannya dengan hati yang terbuka dan riang gembira.

A. Kekhasan Atom Karbon

Pada bab sebelumnya kalian telah mempelajari konfigurasi elektron dan letak unsur pada tabel periodik unsur. Karbon dengan nomor atom 6 memiliki konfigurasi elektron 2 4 atau $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$. Karbon terletak pada golongan IVA (golongan 14) dan periode 2 dalam tabel periodik unsur. Karbon merupakan unsur yang sangat dekat dengan kita karena dalam setiap makhluk hidup pasti mengandung unsur karbon. Untuk membuktikan hal tersebut, mari lakukan aktivitas berikut.



Aktivitas 4.2

Lakukan salah satu atau beberapa kegiatan berikut ini dan pastikan dalam kondisi aman.

1. Membakar kertas
2. Membakar sampah plastik
3. Membakar sate
4. Membakar kayu

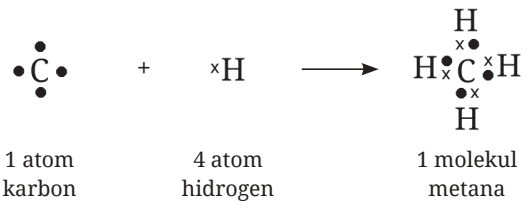
Dari sejumlah aktivitas pembakaran yang telah kalian lakukan, apakah ada sisa pembakarannya? Bagaimana wujud dan warna sisa pembakaran tersebut?

Apabila kalian perhatikan, sisa pembakaran benda-benda tersebut terdapat padatan berwarna hitam. Padatan tersebut kita sebut arang. Tahukah kalian zat apa yang terkandung di dalam arang? Zat yang tersusun dalam arang adalah karbon.

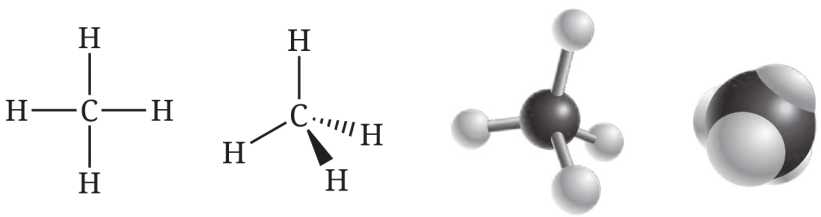
Unsur karbon memiliki beberapa kekhasan yang menyebabkan senyawanya sangat melimpah dan beragam di alam. Kekhasan tersebut berkaitan dengan sifat dari unsur karbon. Berikut ini adalah kekhasan atom karbon yang perlu kalian ketahui.

1. Membentuk empat ikatan kovalen

Atom karbon memiliki empat elektron valensi. Untuk mencapai kestabilan, keempat elektron valensi tersebut dapat membentuk empat ikatan kovalen yang kuat dengan atom nonlogam lainnya. Kuatnya ikatan kovalen ini terjadi akibat ukuran atom karbon yang kecil. Salah satu contoh senyawa kovalen tersebut adalah satu atom karbon berikatan dengan empat atom hidrogen membentuk molekul metana, CH_4.



Untuk menunjukkan struktur senyawa karbon, ada beberapa cara representasi. Sebagai contoh untuk senyawa metana, penulisan dan penggambaran strukturnya disajikan pada gambar berikut.

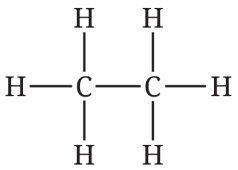


Gambar 4.2 Berbagai representasi struktur metana

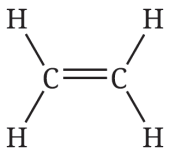
2. Membentuk rantai karbon

Selain dapat membentuk ikatan kovalen dengan atom lain, atom karbon juga dapat berikatan kovalen yang kuat dengan sesama atom karbon membentuk rantai karbon. Banyaknya senyawa karbon di alam terjadi karena terbentuknya rantai karbon ini. Dalam satu golongan IVA, atom karbon dapat menyusun rantai yang sangat panjang, sedangkan untuk atom silikon rantai terpanjangnya adalah delapan atom, lima atom untuk germanium, dua atom untuk timah, dan satu atom untuk timbal.

Ikatan kovalen yang terbentuk antaratom karbon dapat berupa ikatan tunggal, ikatan rangkap dua, dan ikatan rangkap tiga.



etana

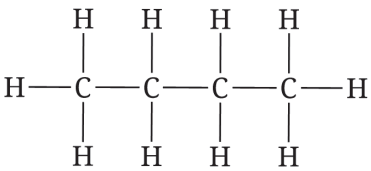


etena

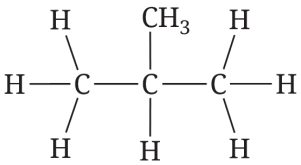


etuna

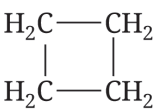
Selain membentuk rantai lurus, sesama atom karbon juga dapat membentuk rantai yang bercabang dan siklis.



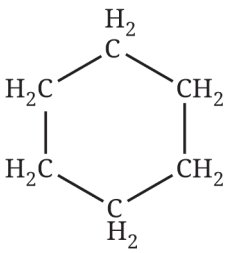
butana



2-metilpropana



siklobutana



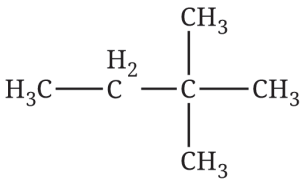
sikloheksana

Dengan adanya rantai karbon, atom karbon dapat dibagi menjadi empat jenis sesuai dengan posisinya dalam rantai. Jenis atom karbon tersebut adalah:

a. Atom karbon primer (1°), yaitu atom karbon yang mengikat satu atom karbon lainnya.
b. Atom karbon sekunder (2°), yaitu atom karbon yang mengikat dua atom karbon lainnya.
c. Atom karbon tersier (3°), yaitu atom karbon yang mengikat tiga atom karbon lainnya.
d. Atom karbon kuartener (4°), atom karbon yang mengikat empat atom karbon lainnya.

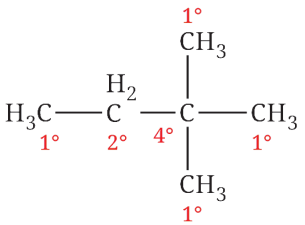
Contoh

Neoheksana merupakan salah satu senyawa yang berfungsi sebagai zat aditif pada bahan bakar. Senyawa ini juga digunakan dalam beberapa produk lem dan semir. Struktur neoheksana ditunjukkan pada gambar berikut.



Tentukanlah jumlah atom karbon primer, sekunder, dan tersier pada struktur neoheksana tersebut!

Penyelesaian:
Beri tanda pada atom karbon dengan angka-angka yang melambangkan masing-masing jenis atom karbon seperti berikut ini.



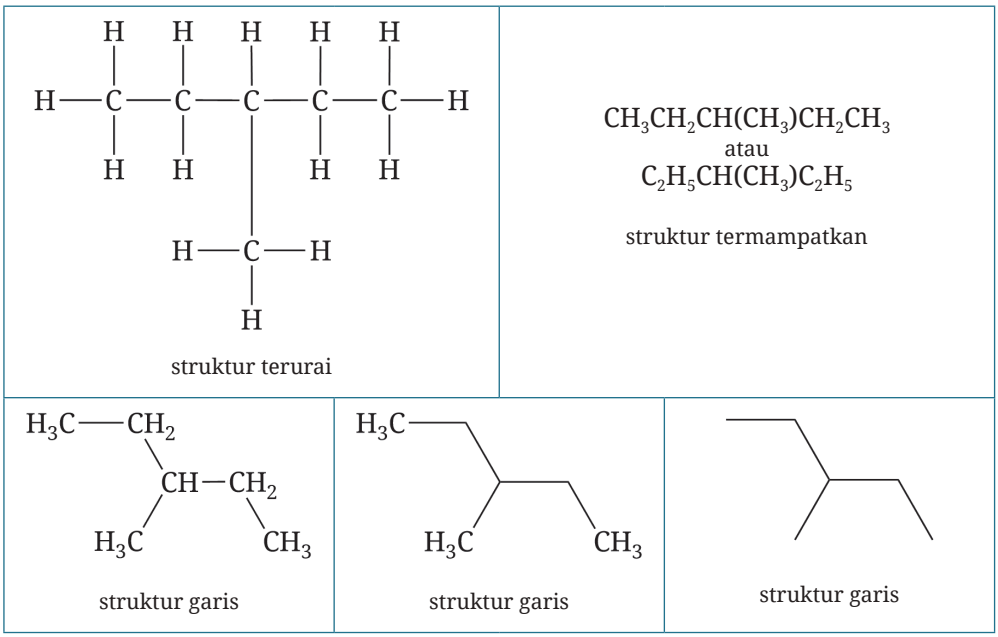
Dengan melihat struktur di atas maka jumlah atom karbon primer ada 4, karbon sekunder ada 1, dan karbon kuartener ada 1. Pada struktur tersebut tidak ada atom karbon tersier.

Aktivitas 4.3

Diskusikanlah dengan teman kalian apakah atom C dalam CH_4 termasuk ke dalam jenis atom C primer, sekunder, atau tersier?

Ikatan antara atom karbon dengan hidrogen tidak selalu ditunjukkan dalam bentuk garis. Ada beberapa cara penggambaran struktur rantai karbon, yaitu struktur terurai, termampatkan, dan struktur garis. Pada struktur garis, penulisan atom C dan H ada yang lengkap, sebagian, dan ada yang tidak dituliskan. Akan tetapi, kalian harus tetap mengingat bahwa setiap atom karbon memiliki total empat ikatan dan sisa ikatan yang tidak tergambarkan adalah ikatan karbon dengan hidrogen. Oleh karena itu, atom karbon di ujung akan selalu mewakili $-CH_3$ untuk ikatan jenuh.

Untuk melihat berbagai cara penulisan struktur rantai karbon, perhatikan penulisan struktur 3-metilpentana pada gambar di bawah ini.

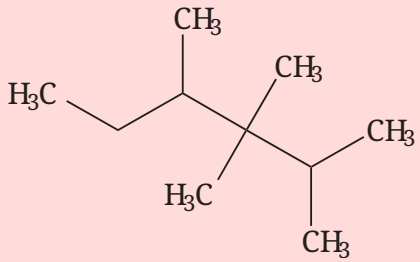


Gambar 4.3 Beberapa cara penulisan struktur senyawa 3-metilpentana

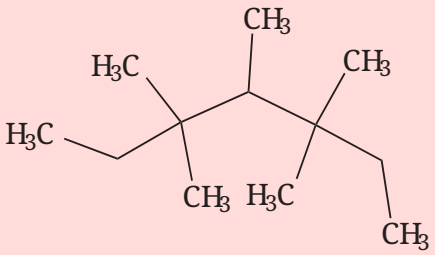
Ayo Berlatih

Kerjakan soal-soal berikut ini!

1. Jelaskan apa saja kekhasan atom karbon!
2. Tuliskan struktur senyawa berikut dalam struktur termampatkan dan struktur garis!

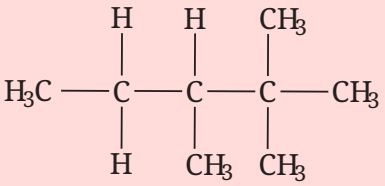


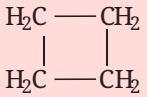
3. Tentukan jumlah atom karbon primer, sekunder, dan tersier dari struktur berikut ini!



4. Gambarkan struktur rantai karbon yang memiliki 1 atom karbon kuartener, 1 atom karbon tersier, 2 atom karbon sekunder, dan 5 atom karbon primer!

5. Gambar ulang struktur-struktur berikut!





Tentukan jumlah atom C primer, sekunder, tersier, dan kuartener pada struktur yang telah kalian gambar. Beri label dengan 1° untuk primer, 2° untuk sekunder, dan seterusnya!

B. Klasifikasi Hidrokarbon

Senyawa karbon yang paling sederhana adalah hidrokarbon, yaitu senyawa yang terdiri atas atom hidrogen dan karbon saja. Meskipun hanya terdiri atas dua jenis atom, hidrokarbon di alam sangat beragam. Selain bahan bakar yang telah disebutkan pada awal bab ini, contoh hidrokarbon lainnya adalah asetilena (gas karbit), lilin, *styrofoam*, karet alam, dan berbagai plastik.



Gambar 4.4 Berbagai produk berbahan hidrokarbon

Aktivitas 4.4

Bagaimana cara membuktikan adanya unsur karbon dan hidrogen dalam suatu senyawa? Coba kalian lakukan aktivitas berikut ini.

1. Rangkailah alat seperti gambar di samping. Gunakan bahan-bahan yang tidak terpakai atau beli yang paling murah.
2. Lakukan percobaan ini dan amati perubahan yang terjadi.
3. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi.
4. Apa yang dapat kalian simpulkan dari percobaan ini?



Hidrokarbon dapat digolongkan menjadi hidrokarbon alifatik dan hidrokarbon aromatik. Hidrokarbon alifatik adalah senyawa hidrokarbon rantai terbuka (asiklik) maupun rantai tertutup (siklik) yang tidak memenuhi aturan aromatisitas, sedangkan hidrokarbon aromatik adalah senyawa karbon yang memenuhi aturan aromatisitas (akan dibahas di bagian berikutnya).

Selain itu, senyawa hidrokarbon juga dapat dikelompokkan berdasarkan jenis ikatan yang terbentuk antaratom karbon, yaitu hidrokarbon jenuh dan tidak jenuh. Senyawa hidrokarbon jenuh terdiri atas alkana dan sikloalkana, sedangkan senyawa hidrokarbon tidak jenuh terdiri atas alkena, alkuna, sikloalkena, dan sikloalkuna.

C. Alkana

Pada hidrokarbon alifatik jenuh, atom karbon dapat mengikat atom hidrogen secara maksimal. Senyawa yang tergolong alifatik jenuh adalah alkana dan sikloalkana.

1. Struktur alkana

Alkana hanya memiliki ikatan tunggal antaratom karbonnya. Sisa ikatan yang tidak digunakan dengan atom karbon lain akan diisi oleh atom hidrogen. Tabel 3.1 berikut ini menunjukkan sepuluh senyawa pertama senyawa alkana.

Tabel 3.1 Sepuluh senyawa alkana paling sederhana

Rumus molekul	Nama	Massa molekul ($g.mol^{-1}$)	Titik didih (°C)	Jumlah struktur
CH_4	Metana	16	–162	1
C_2H_6	Etana	30	–89	1
C_3H_8	Propana	44	–42	1
C_4H_{10}	Butana	58	0	2
C_5H_{12}	Pentana	72	36	3
C_6H_{14}	Heksana	86	68	5
C_7H_{16}	Heptana	100	98	9
C_8H_{18}	Oktana	114	126	18
C_9H_{20}	Nonana	128	151	35
$C_{10}H_{22}$	Dekana	142	174	75

Pada Tabel 3.1 dapat dilihat bahwa rumus molekul dari dua senyawa yang berurutan memiliki selisih —CH_2— (metilen). Dengan selisih yang sama, deret tersebut dinamakan **deret homolog**. Jika kalian perhatikan dengan teliti, perbandingan jumlah atom C dan H dalam alkana sama dengan $n : 2n+2$. Oleh karena itu, alkana dapat dinyatakan dengan suatu rumus umum C_nH_{2n+2}.

Struktur alkana juga dapat ditulis sebagai R—H, di mana R adalah gugus alkil. Penamaan dan struktur alkil dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Struktur dan tata nama alkil yang paling umum

Jumlah karbon	Rumus molekul	Struktur	Nama
1	CH_3—	CH_3—	metil
2	C_2H_5—	CH_3—CH_2—	etil
3	C_3H_7—	CH_3—CH_2—CH_2—	propil
		CH_3—CH(—CH_3)	isopropil
4	C_4H_9—	CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—	n-butil
		CH_3—CH(—CH_3)—CH_2—	isobutil
		CH_3—CH_2—CH(—CH_3)—	sekunder butil (sek-butil)
		CH_3—C(CH_3)(CH_3)—	tersier butil (ters-butil)

Ingat kembali bahwa atom karbon dapat membentuk rantai bercabang, maka baik alkana maupun alkil dapat memiliki berbagai variasi penulisan struktur yang disebut sebagai **isomer**. Pembahasan mengenai isomer akan dilakukan setelah pembahasan tata nama alkana.

2. Tata nama alkana

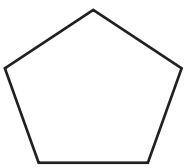
Untuk menyeragamkan penyebutan nama hidrokarbon di seluruh dunia, maka IUPAC memberikan panduan tata nama untuk alkana dan hidrokarbon lainnya.

Semua nama alkana mempunyai akhiran “-ana”. Alkana rantai lurus diberi nama sesuai dengan jumlah atom karbonnya sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.1. Untuk alkana dengan jumlah atom karbon empat atau lebih,

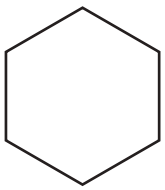
nama untuk rantai lurusnya ditambahkan huruf “n-” (normal) di depan nama alkananya, seperti n-butana dan n-pentana berikut ini.

$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$ n-butana
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$ n-pentana

Alkana rantai tertutup (siklis) diberi nama menurut banyaknya atom karbon dalam cincin dengan penambahan awalan “siklo-”. Jumlah karbon terkecil yang dapat membentuk cincin adalah tiga buah dan memiliki nama siklopropana. Contoh sikloalkana lainnya adalah siklopentana dengan lima atom karbon dan sikloheksana yang memiliki enam atom karbon seperti berikut ini.



siklopentana



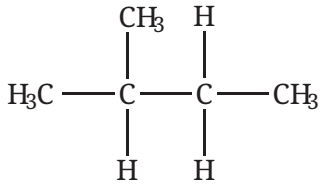
sikloheksana

Jika alkana memiliki rantai bercabang maka penamaannya mengikuti aturan berikut.

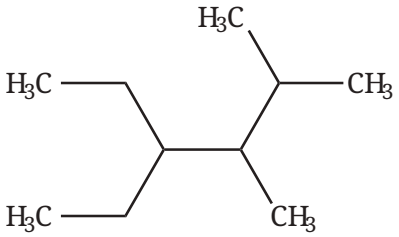
a. Menentukan rantai utama, yaitu rantai karbon yang paling panjang dan diberi nama alkana sesuai jumlah atom karbonnya.
b. Menentukan cabang, yaitu gugus-gugus yang terikat pada rantai utama dan diberi nama alkil.
c. Rantai utama diberi nomor dari ujung yang terdekat dengan cabang.
d. Jika ada beberapa cabang yang sejenis maka jumlah cabang dinyatakan sebagai awalan: di- (2), tri- (3), tetra- (4), dan seterusnya.
e. Jika ada beberapa jenis cabang maka nama cabang dituliskan sesuai urutan alfabet. Misalnya, etil disebutkan sebelum metil.
f. Jika ada beberapa pilihan rantai utama maka rantai utama dipilih yang mengikat cabang terbanyak.
g. Penyusunan nama alkana ditulis dengan urutan: posisi cabang + nama cabang + nama rantai utama.
h. Untuk memisahkan angka dengan angka, digunakan tanda koma (,), sedangkan untuk memisahkan angka dengan huruf digunakan tanda hubung (-).

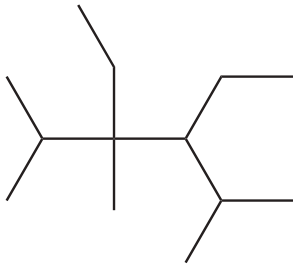
Contoh

Berilah nama untuk senyawa-senyawa dengan struktur berikut ini!

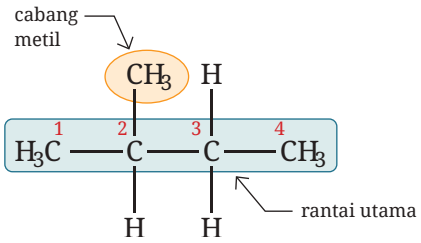
a. 

b. $CH_3CH_2CH(CH_3)C(CH_3)_3$

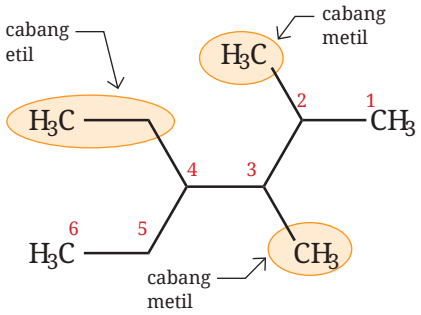
c. 

d. 

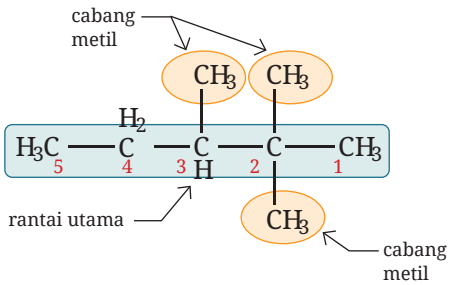
Penyelesaian:

a. 

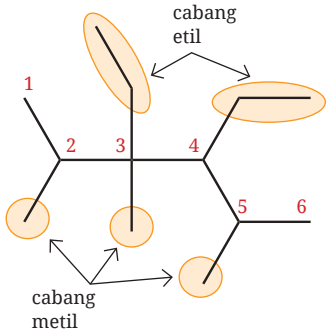
2-metilbutana

c. 

4-etil-2,3-dimetilheksana

b. 

2,2,3-trimetilpentana

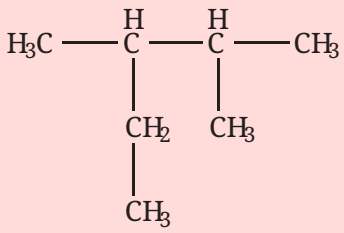
d. 

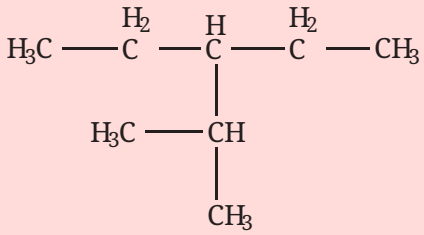
3,4-dietil-2,3,5-trimetilheksana

Ayo Berlatih

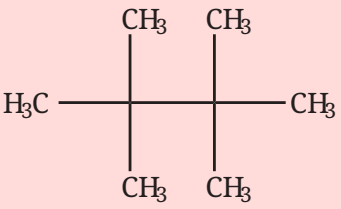
Kerjakan soal-soal berikut ini!

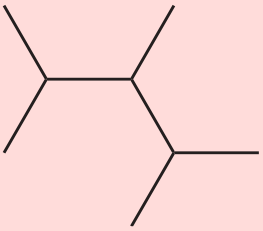
1. Beri nama senyawa-senyawa berikut ini sesuai aturan IUPAC!

a. 

b. 

c. $(CH_3)_3CCH_2CH(CH_3)_2$

d. 

e. 

2. Gambarlah struktur yang sesuai untuk nama-nama senyawa berikut ini!
   a. 2-metilpropana
   b. 2,3-dimetilbutana
   c. 3-etil-2,4-dimetilpentana
   d. 4-etil-2,2,3-trimetilheksana
   e. 4-isopropil-2,6-dimetilheptana

3. Periksalah nama berikut ini, apakah sudah sesuai aturan IUPAC? Jika tidak, tulis nama yang sesuai untuk senyawa tersebut!
   a. 3-metilbutana
   b. 2-etilbutana
   c. 3,4-dimetilpentana
   d. 2-metil-3-etilpentana
   e. 3-isopropilheksana

D. Alkena dan Alkuna

Alkena dan alkuna merupakan contoh senyawa alifatik tidak jenuh karena memiliki ikatan rangkap antaratom karbon dalam senyawanya. Alkena memiliki ikatan rangkap dua, sedangkan alkuna memiliki ikatan rangkap tiga. Jumlah atom karbon pada alkena dan alkuna minimal dua. Rumus umum alkena adalah C_nH_{2n}, sedangkan alkuna C_nH_{2n-2}. Tabel 3.3 berikut menunjukkan senyawa alkena dan alkuna sederhana.

Tabel 3.3 Senyawa alkena dan alkuna sederhana

Rumus alkena	Nama alkena	Rumus alkuna	Nama alkuna
C_2H_4	Etena	C_2H_2	Etuna
C_3H_6	Propena	C_3H_4	Propuna
C_4H_8	Butena	C_4H_6	Butuna
C_5H_{10}	Pentena	C_5H_8	Pentuna
C_6H_{12}	Heksena	C_6H_{10}	Heksuna
C_7H_{14}	Heptena	C_7H_{12}	Heptuna
C_8H_{16}	Oktena	C_8H_{14}	Oktuna
C_9H_{10}	Nonena	C_9H_{16}	Nonuna
$C_{10}H_{20}$	Dekena	$C_{10}H_{18}$	Dekuna

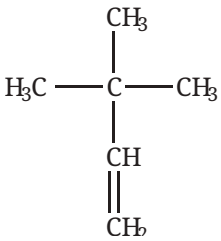
Penamaan alkena dan alkuna mirip dengan penamaan alkana. Semua nama alkena diberi akhiran “-ena”, sedangkan alkuna diberi akhiran “-una”. Beberapa hal penting yang berbeda dari alkana yang harus diperhatikan adalah pada poin-poin berikut ini.

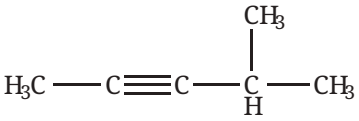
1. Menentukan rantai utama, yaitu rantai karbon yang paling panjang dan wajib mengandung ikatan rangkap. Rantai utama diberi nama alkena untuk rangkap dua dan alkuna untuk rangkap tiga.
2. Menentukan cabang, yaitu gugus-gugus yang terikat pada rantai utama dan diberi nama alkil.
3. Rantai utama diberi nomor dari ujung yang terdekat dengan ikatan rangkap.

Tahapan tata nama berikutnya sama seperti pada alkana. Untuk alkena dan alkuna, ada beberapa senyawa yang sudah memiliki nama populer atau nama dagang. Nama ini disebut dengan nama trivial, misalnya C_2H_4 diberi nama etilena, sedangkan C_2H_2 diberi nama asetilena.

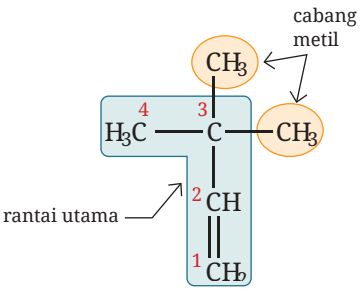
Contoh

Berikan nama untuk senyawa-senyawa berikut ini!

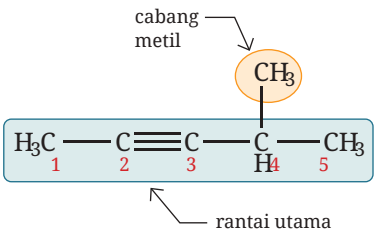




Penyelesaian:
Dengan menggunakan langkah-langkah penamaan alkena dan alkuna, maka nama dari senyawa-senyawa di atas adalah sebagai berikut



3,3-dimetil-1-butena

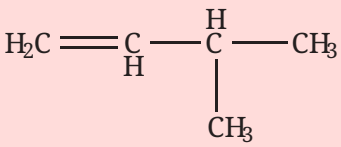


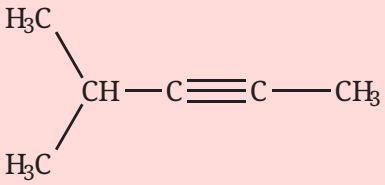
4-metil-2-pentuna

Ayo Berlatih

Kerjakan soal-soal berikut ini!

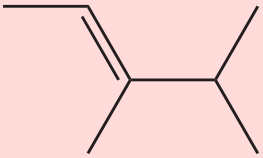
1. Beri nama IUPAC yang tepat untuk senyawa-senyawa berikut ini!

   a. 

b. 

c. $CH_3C(CH_3)CHCH(CH_3)_2$

d. $CH_3CCC(CH_3)_3$

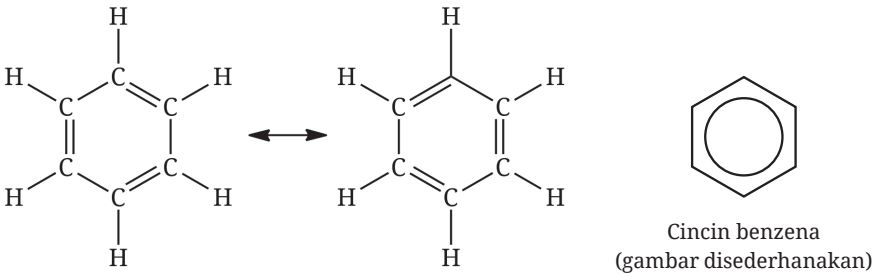
e. 

2. Gambarkan struktur dari nama-nama senyawa berikut ini!
   a. 2-metil-2-butena
   b. 3,4-dimetil-1-pentuna
   c. 2-etil-1-butena
   d. propilena
   e. metilasetilena

3. Tentukan apakah nama senyawa-senyawa berikut sudah sesuai aturan IUPAC? Jika belum, tentukan nama yang sesuai!
   a. 2-metil-1-butena
   b. 2-metil-3-butuna
   c. 2,3-dimetil-4-pentuna
   d. 2-etil-2-butena
   e. 3-etil-4-metil-3-pentena

E. Hidrokarbon Aromatik

Hidrokarbon aromatik adalah hidrokarbon siklis yang memiiki ikatan rangkap dua berselang-seling dan memenuhi aturan Huckel. Hidrokarbon yang paling umum dari golongan ini adalah benzena dengan rumus C_6H_6. Berbagai cara penggambaran benzena dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pembahasan lebih rinci mengenai hidrokarbon aromatik akan dipelajari di kelas XII.



Gambar 4.5 Variasi penggambaran benzena

F. Sifat Fisis dan Kimia Hidrokarbon

Sifat hidrokarbon meliputi sifat fisis dan sifat kimia.

1. Sifat fisis

Sifat fisis hidrokarbon yang mudah untuk dibandingkan adalah wujud zat pada suhu ruang, titik didih, dan titik leleh. Beberapa ketentuan sifat fisis pada hidrokarbon adalah sebagai berikut.

a. Semakin panjang rantai utama, massa molekul (M_r) semakin besar, dan gaya antarmolekul semakin kuat, maka semakin tinggi titik leleh dan titik didih hidrokarbon, semakin menuju ke wujud padat.
b. Semakin banyak ikatan rangkap, titik leleh dan titik didih hidrokarbon dengan jumlah atom C yang sama akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan gaya antarmolekul antarikatan rangkap lebih kuat daripada antarikatan tunggal.
c. Senyawa hidrokarbon rantai lurus memiliki titik didih lebih tinggi dibandingkan dengan hidrokarbon rantai bercabang. Hal ini disebabkan oleh gaya van der Waals yang lebih kuat pada senyawa hidrokarbon rantai lurus.

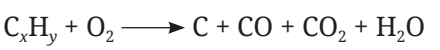
2. Sifat kimia

Sifat kimia pada senyawa hidrokarbon dapat diamati dari reaksi-reaksi kimia berikut ini.

a. Reaksi oksidasi/pembakaran

Reaksi oksidasi adalah reaksi antara senyawa hidrokarbon dengan oksigen.

1) Pembakaran sempurna, terjadi ketika ketersediaan oksigen cukup. Hasil reaksinya adalah karbon dioksida dan uap air.

2) Pembakaran tidak sempurna, terjadi ketika ketersediaan oksigen kurang. Hasil reaksinya dapat berupa campuran antara karbon, karbon monoksida, karbon dioksida dan uap air.


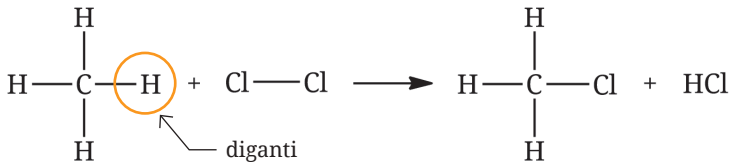
b. Reaksi substitusi

Reaksi substitusi adalah reaksi penggantian atom hidrogen dengan atom lain pada alkana.

Contoh:

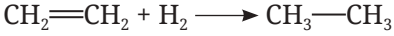


atau



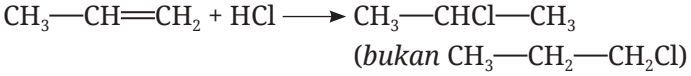
c. Reaksi adisi

Reaksi adisi adalah reaksi penambahan gugus pada ikatan rangkap dengan cara memutuskan ikatan rangkap pada alkena dan alkuna. Terdapat beberapa jenis reaksi adisi, yaitu:

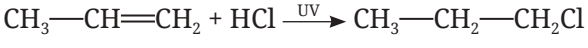
1) Adisi atom hidrogen/hidrogenasi

2) Adisi atom halogen/halogenasi

3) Adisi asam halida

Adisi jenis ini harus memenuhi kaidah Markovnikov, yaitu atom hidrogen dari asam halida akan terikat pada atom C yang mengikat atom hidrogen lebih banyak.



Akan tetapi, apabila reaksi tersebut menggunakan sinar UV atau katalis H_2O_2 maka akan berlaku aturan anti-markovnikov, yaitu atom hidrogen akan terikat pada atom C yang memiliki lebih sedikit atom hidrogen.



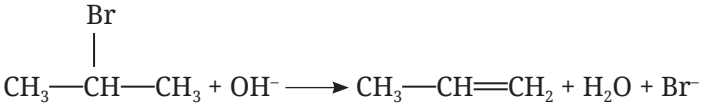
Kedua aturan tersebut, baik Markovnikov maupun anti-Markovnikov, menghasilkan senyawa yang lebih stabil disesuaikan dengan kondisi saat bereaksi. Aturan Markovnikov menekankan pada karbokation yang lebih stabil, sedangkan aturan anti-Markovnikov menekankan pada radikal yang lebih stabil. Hal ini dapat dijelaskan melalui mekanisme reaksi pada tautan berikut.

https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Organic_Chemistry)/Alkenes/Reactivity_of_Alkenes/Electrophilic_Addition_of_Hydrogen_Halides

https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Organic_Chemistry)/Alkenes/Reactivity_of_Alkenes/Free_Radical_Reactions_of_Alkenes/Radical_Additions%3A_Anti-Markovnikov_Product_Formation

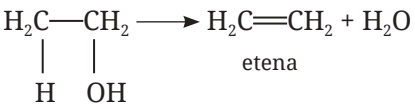
d. Reaksi eliminasi

Reaksi eliminasi adalah reaksi pengurangan/eliminasi gugus atau substituen tertentu dari hidrokarbon sehingga terbentuk ikatan rangkap. Reaksi eliminasi biasanya ditandai dengan terlepasnya molekul kecil seperti air, amonia, HCl, atau HBr.



bromopropana propena

Beberapa contoh reaksi eliminasi lain adalah reaksi dehidrasi pada alkohol.



etanol etena

Ayo Berlatih

Kerjakan soal-soal berikut ini!

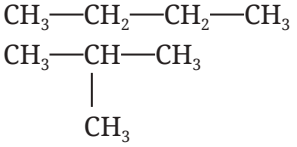
1. Tentukan jenis reaksi yang tepat untuk masing-masing reaksi berikut!
   a. $C_2H_2 + H_2O \longrightarrow C_2H_4O$
   b. $C_8H_{18} + 12{,}5O_2 \longrightarrow 8CO_2 + 9H_2O$
   c. $CH_3CH_2CH_2OH \longrightarrow CH_3CHCH_2 + H_2O$
   d. $CH_3CH_2OH + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl + H_2O$

2. Tuliskan persamaan reaksi yang sesuai untuk pembakaran sempurna:
   a. metana
   b. propana
   c. asetilena
   d. heksena
   e. benzena

3. Tentukan produk utama dari reaksi-reaksi berikut!
   a. 1-butena dengan HCl
   b. 1-pentena dengan HBr menggunakan katalis H_2O_2
   c. 3-metil-1-butena dengan HCl

G. Isomer pada Hidrokarbon

Perhatikan rumus struktur dua senyawa alkana di bawah ini.



Dari dua senyawa tersebut, nama dan rumus strukturnya berbeda, tetapi keduanya memiliki rumus molekul yang sama, yaitu C_4H_{10}. Kedua senyawa tersebut memiliki hubungan yang disebut **isomer**. Dengan demikian, isomer dapat dinyatakan sebagai dua senyawa atau lebih yang memiliki rumus kimia yang sama, tetapi struktur atau penataan ruangnya berbeda.

Isomer pada hidrokarbon dapat dibedakan menjadi dua jenis isomer utama, yaitu isomer struktur dan isomer ruang.

1. Isomer struktur

Dua senyawa atau lebih dengan rumus molekul sama, tetapi strukturnya berbeda disebut isomer struktur. Isomer struktur dapat dibedakan kembali menjadi isomer rantai/rangka, isomer posisi, dan isomer gugus fungsi.

a. Isomer rantai/rangka

Apabila dua senyawa atau lebih dengan rumus molekul sama, tetapi penulisan rantainya berbeda, senyawa ini disebut sebagai pasangan isomer rantai. Contohnya pentana, 2-metilbutana, dan 2,2-dimetilpropana.

b. Isomer posisi

Apabila dua senyawa atau lebih dengan rumus molekul sama, tetapi posisi ikatan rangkapnya berbeda, senyawa-senyawa ini disebut dengan isomer posisi. Contohnya 1-butena dengan 2-butena.

c. Isomer gugus fungsi

Isomer ini terjadi jika dua senyawa atau lebih memiliki rumus molekul sama, tetapi dengan gugus fungsi yang berbeda. Pasangan senyawa hidrokarbon yang merupakan isomer gugus fungsi adalah alkena dengan sikloalkana, alkuna dengan sikloalkena, dan alkuna dengan alkadiena. Contoh senyawa yang berisomer gugus fungsi adalah 1-heksena dengan sikloheksana.



Ayo Berlatih

Dari penjelasan isomer struktur di atas, ada beberapa nama pasangan senyawa yang disebutkan, yaitu:

1. pentana, 2-metilbutana, dan 2,2-dimetilpropana
2. 1-butena dan 2-butena
3. 1-heksena dan sikloheksana

Gambarlah struktur dari senyawa-senyawa tersebut!

2. Isomer ruang

Dua senyawa atau lebih dengan rumus molekul sama, tetapi dengan penataan ruang yang berbeda, disebut dengan isomer ruang. Terdapat dua jenis isomer ruang, yaitu isomer geometri dan isomer optik.

a. Isomer geometri

Isomer geometri terjadi akibat adanya ikatan yang sulit diputar, yaitu ikatan rangkap pada alkena dan ikatan pada sikloalkana.

Pada ikatan tunggal C—C, rotasi antaratom karbon dapat mudah terjadi. Akan tetapi, pada ikatan rangkap C═C, rotasi atom karbon cenderung terbatas karena adanya ikatan pi. Oleh karena itu, posisi gugus atau atom yang terikat pada atom C ikatan rangkap tidak dapat berubah. Di sisi lain, pada ikatan C—C siklik, rotasi antaratom karbon terbatas karena saling terkait satu sama lain. Kekakuan posisi pada ikatan C═C dan C—C siklik ini disebut pula ketegangan (*rigidity*).

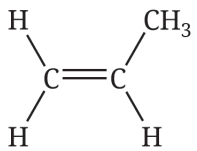
Berdasarkan posisi gugus atau atomnya, isomer geometri dibagi menjadi bentuk cis-trans dan bentuk E-Z.

1) Isomer cis dan trans

Bentuk isomer cis terjadi ketika gugus atau atom sejenis terletak pada sisi yang sama. Sebaliknya, bentuk isomer trans terjadi ketika gugus atau atom sejenis terletak pada sisi berlawanan. Syarat utama isomer cis-trans adalah adanya ikatan C═C dan setiap atom C pada ikatan rangkap itu mengikat gugus atau atom yang berbeda.

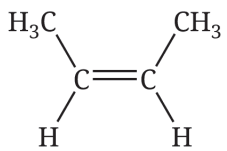
Coba kalian perhatikan struktur senyawa 1-propena dan 2-butena berikut ini.

a) Senyawa 1-propena (CH_2═CH—CH_3) dapat digambarkan sebagai berikut.



Atom C sebelah kiri mengikat dua atom yang sama, yaitu atom H, sedangkan atom C sebelah kanan mengikat dua gugus berbeda, yaitu gugus —CH_3 dan atom H.

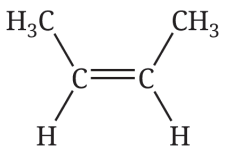
b) Senyawa 2-butena (CH_3—CH═CH—CH_3) dapat digambarkan sebagai berikut.



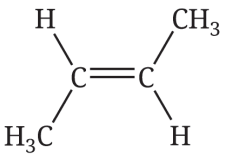
Atom C sebelah kiri maupun kanan mengikat dua gugus yang berbeda, yaitu atom H dan gugus $–CH_3$.

Dengan demikian, 1-propena tidak memiliki isomer cis-trans, sedangkan 2-butena memiliki isomer cis-trans.

Isomer cis-trans dari 2-butena dapat digambarkan sebagai berikut.



cis-2-butena



trans-2-butena

2) Isomer E-Z

Isomer E-Z mirip dengan cis-trans. Biasanya isomer ini digunakan untuk menentukan posisi gugus di sekitar ikatan rangkap yang semuanya berbeda. Dasar penamaan isomer E-Z adalah M_r dari gugus yang diikat. Isomer E mirip trans, sedangkan isomer Z mirip cis.

b. Isomer optik

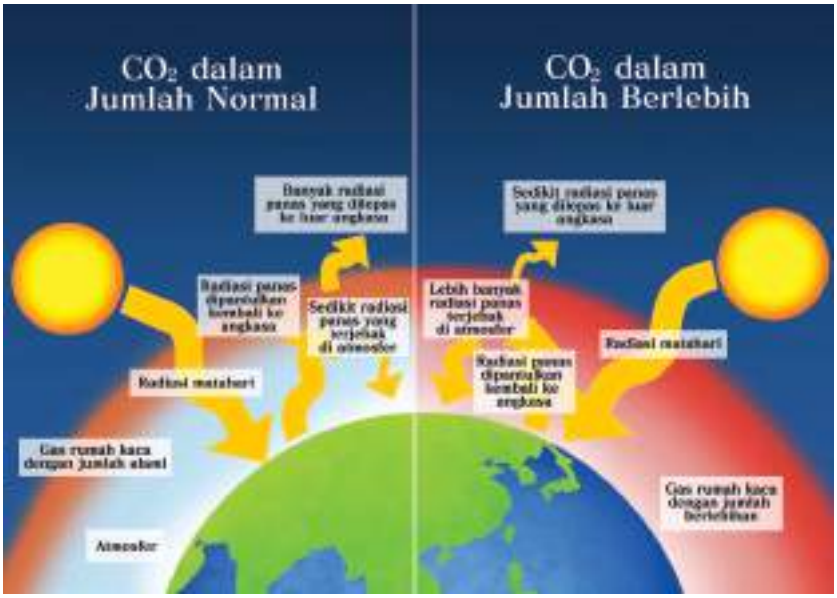
Isomer optik adalah isomer yang terjadi akibat adanya atom karbon asimetris atau disebut juga atom karbon khiral. Isomer optik akan dibahas pada bab Gugus Fungsi dan Senyawa Karbon di kelas XII.

H. Dampak Pembakaran Hidrokarbon

Seperti dijelaskan pada awal bab Hidrokarbon, saat ini penggunaan bahan bakar yang bersumber dari hidrokarbon sangatlah besar dan menjadi salah satu kebutuhan utama bahan bakar di seluruh dunia. Penggunaan bahan bakar ini tentu memiliki berbagai dampak terhadap kehidupan kita.

Hidrokarbon menjadi bahan bakar utama saat ini diiringi oleh masifnya kegiatan penambangan batu bara dan minyak bumi yang merupakan salah satu penambangan terbesar dan tersebar di seluruh dunia. Akan tetapi, suatu saat kedua bahan bakar ini akan habis karena sumber keduanya merupakan fosil yang telah mengendap ratusan juta tahun sehingga sulit untuk diperbarui. Oleh karena itu, sumber energi alternatif harus segera digunakan.

Pembakaran bahan bakar hidrokarbon, seperti telah dijelaskan pada subbab sifat kimia senyawa hirokarbon, jika terbakar sempurna akan menghasilkan karbon dioksida, uap air, dan energi. Jumlah energi yang dihasilkan dari berbagai hidrokarbon akan dipelajari pada bab berikutnya, yaitu termokimia. Semakin banyak pembakaran hidrokarbon, semakin banyak pula karbon dioksida yang dihasilkan. Kondisi ini akan menyebabkan polusi udara dan menjadi penyebab terjadinya penumpukan gas rumah kaca. Pada jumlah yang alami, gas rumah kaca bermanfaat untuk menghangatkan bumi, tetapi penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan jumlah gas rumah kaca jauh meningkat sehingga suhu bumi menjadi semakin panas seperti terlihat pada Gambar 4.6. Peningkatan suhu bumi juga akan berakibat pada mencairnya es di kedua kutub bumi yang akan menaikkan permukaan laut ke daratan. Selain itu, beberapa spesies yang hidup di laut juga terpengaruh akibat peningkatan suhu air laut sehingga menurunkan populasinya.



Gambar 4.6 Perbandingan efek rumah kaca alami dan pengaruh meningkatnya produksi karbon dioksida

Dengan berbagai dampak tersebut, maka perlu dilakukan berbagai tindakan nyata untuk menyelamatkan bumi kita. Salah satunya adalah dengan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Tindakan nyata yang dapat kita lakukan diantaranya menggunakan kendaraan umum untuk jarak

cukup jauh, menggunakan sepeda untuk beergian jarak dekat, mengurangi penggunaan plastik sekali pakai, dan meminimalisasi penggunaan listrik. Tindakan sederhana kita dapat menyelamatkan dunia.



Inti Sari

Senyawa yang paling banyak tersedia di alam adalah senyawa karbon. Hal ini disebabkan oleh kekhasan dari atom karbon yang dapat membentuk empat ikatan, baik dengan sesama atom karbon maupun dengan atom-atom lain. Senyawa karbon paling sederhana adalah hidrokarbon.

Hidrokarbon dapat digolongkan menjadi hidrokarbon alifatik dan aromatik. Hidrokarbon alifatik terbagi lagi menjadi hidrokarbon rantai terbuka dan rantai tertutup. Berdasarkan kejenuhannya, hidrokarbon rantai terbuka dibagi menjadi hidrokarbon jenuh, yaitu alkana, dan hidrokarbon tak jenuh, yaitu alkena yang mengandung ikatan rangkap dua dan alkuna yang mengandung ikatan rangkap tiga.

Hidrokarbon memiliki tata nama resmi yang berasal dari IUPAC dan juga memiliki nama umum atau trivial. Dalam penamaan hidrokarbon menurut IUPAC, dasar utamanya adalah tata nama alkana. Untuk alkena dan alkuna prinsip penamaannya mengikuti alkana dengan sedikit penyesuaian.

Hidrokarbon memiliki reaksi-reaksi yang umum, yaitu reaksi adisi, eliminasi, substitusi, dan pembakaran. Reaksi-reaksi ini memiliki karakteristik masing-masing. Selain itu, hidrokarbon dengan jumlah atom karbon tertentu dapat memiliki isomer, yaitu senyawa-senyawa dengan rumus kimia sama, tetapi struktur atau tata letak ruangnya berbeda. Hal ini menjadi penyebab banyaknya senyawa karbon di alam seperti disebutkan di bagian awal.

Ayo Refleksi

Setelah mempelajari materi Hidrokarbon, silakan kalian merefleksi diri. Berilah ceklis (√) pada kolom Ya/Tidak untuk pernyataan di bawah ini.

No.	Pernyataan	Tanggapan	
		Ya	Tidak
1.	Saya telah memahami kekhasan atom karbon dan ikatan dalam rantai karbon.		
2.	Saya telah memahami klasifikasi hidrokarbon, tata nama senyawa alkana, alkena, dan alkuna, serta pengertian hidrokarbon aromatik.		
3.	Saya telah memahami sifat fisis dan beragam reaksi kimia senyawa hidrokarbon.		
4.	Saya telah memahami isomer-isomer senyawa hidrokarbon.		
5.	Saya telah memahami dampak penggunaan bahan bakar hidrokarbon.		

Menurut kalian, materi manakah yang sulit untuk dipahami dalam bab Hidrokarbon? Jelaskan alasannya!

Ayo Cek Pemahaman

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Jumlah atom karbon primer, sekunder, tersier, dan kuartener dari senyawa 2,2,3-trimetilpentana berturut-turut adalah ....
   a. 5, 1, 1, 1
   b. 5, 0, 2, 1
   c. 5, 1, 2, 0
   d. 4, 1, 2, 1
   e. 4, 2, 1, 1

2. Berikut ini tata nama yang sesuai dengan IUPAC adalah ....
   a. 2-etilbutana
   b. 2-etil-1-butena
   c. 2-etilpentana
   d. 2-etil-2-butena
   e. 2-metil-3-butena

3. Berikut ini nama senyawa yang *bukan* merupakan isomer dari heptana adalah ....
   a. 2,2,3,3-tetrametilpropana
   b. 2,2,3-trimetilbutana
   c. 2,2-dimetilpentana
   d. 2,3-dimetilpentana
   e. 3-metilheksana

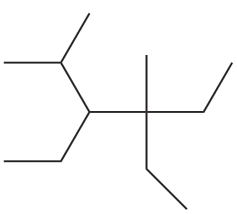
4. Hasil reaksi yang dominan antara HCl dengan 1-pentena adalah ....
   a. 2-kloropentana
   b. 1-kloropentana
   c. 3-kloropentana
   d. 2-metil-2-klorobutana
   e. 2-kloro-3-metilbutana

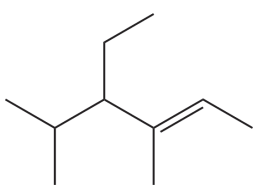
5. Perhatikan reaksi-reaksi senyawa hidrokarbon berikut.
   1) $H_2C{=}CH_2 + H_2 \longrightarrow H_3C{-}CH_3$
   2) $CH_4 + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + HCl$
   3) $H_3C{-}CH_3 \longrightarrow H_2C{=}CH_2 + H_2$
   4) $CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$

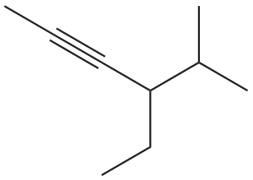
   Urutan jenis reaksi yang benar dari reaksi-reaksi tersebut adalah ....
   a. eliminasi, substitusi, adisi, pembakaran
   b. eliminasi, adisi, substitusi, pembakaran
   c. adisi, eliminasi, substitusi, pembakaran
   d. adisi, substitusi, eliminasi, oksidasi
   e. adisi, substitusi, eliminasi, substitusi

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan tepat!

1. Tentukan nama IUPAC yang sesuai untuk struktur berikut!

   a. 

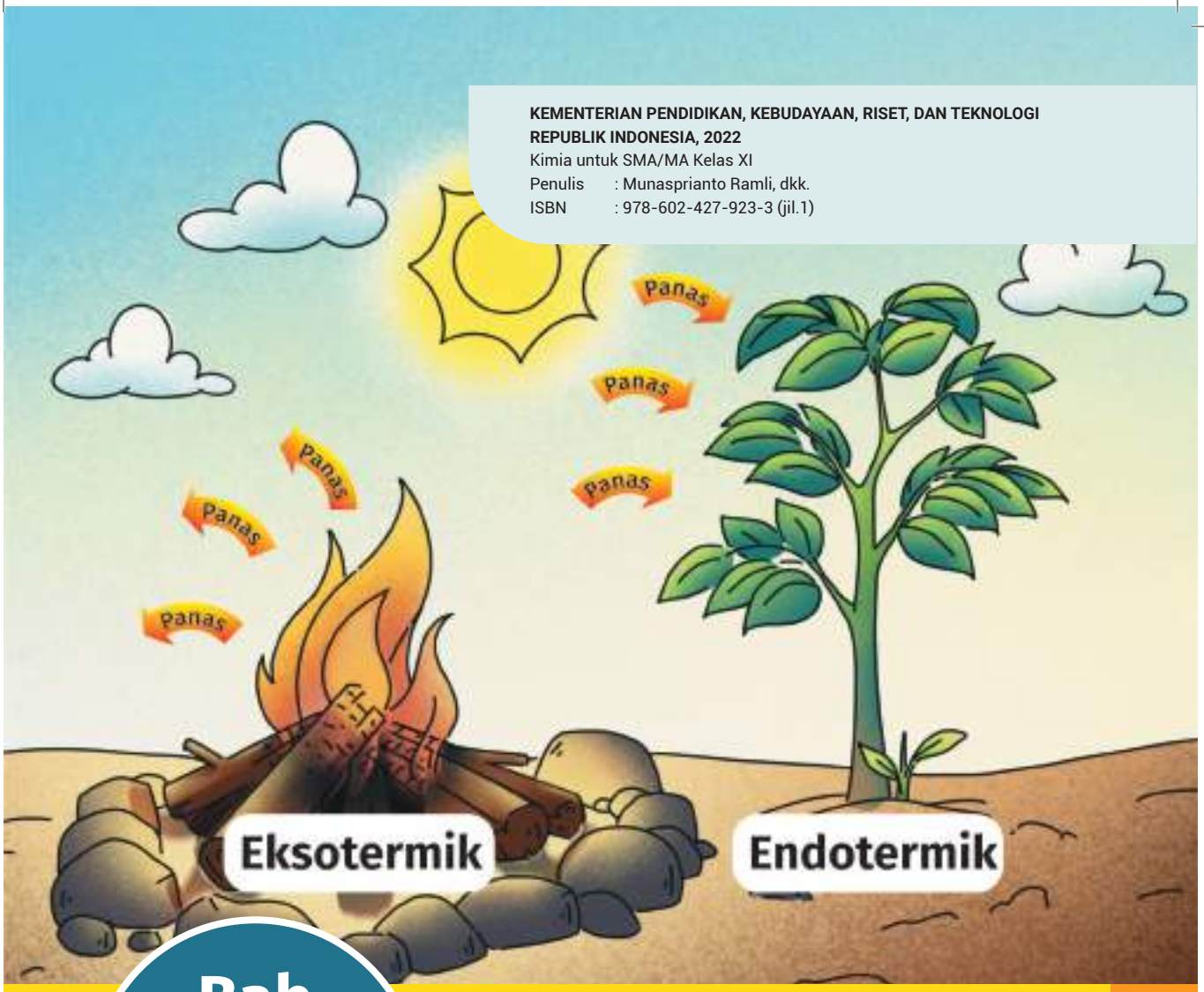
   b. 

c. 

2. Tuliskan persamaan reaksi setara untuk:
   a. pembakaran *n*-heptana
   b. adisi HCl pada 2-metil-1-pentena

3. Gambarkan dan beri nama:
   a. semua isomer dari C_5H_{12}
   b. semua isomer struktur dari C_4H_8
   c. isomer struktur dari C_4H_6 yang merupakan alkuna dan sikloalkena

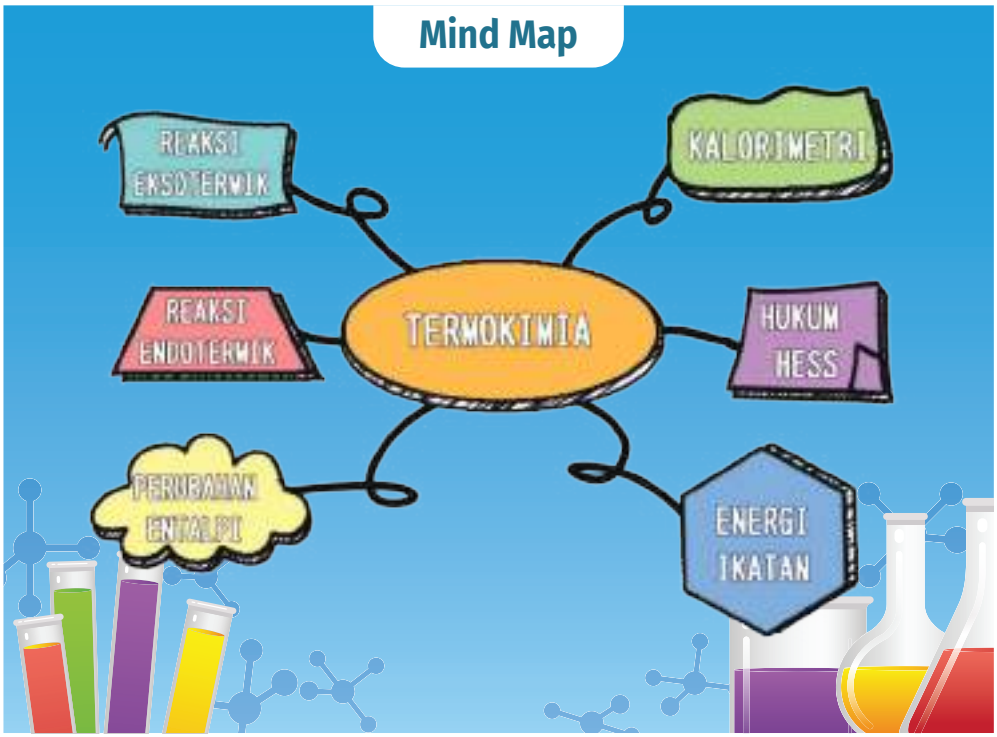
KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022
Kimia untuk SMA/MA Kelas XI
Penulis : Munasprianto Ramli, dkk.
ISBN : 978-602-427-923-3 (jil.1)



Bab V
Termokimia

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menjelaskan tentang konsep termokimia, jenis-jenis sistem, hubungan antara energi, kalor, dan kerja, pengertian perubahan entalpi, dan jenis-jenis perubahan entalpi serta menentukan harga perubahan entalpi berdasarkan harga energi ikatan, hukum Hess, dan berdasarkan data percobaan kalorimeter. Selain itu, kalian mampu melakukan percobaan menggunakan kalorimeter, mampu membuat kalorimeter sederhana, dan memahami penggunaan konsep termokimia dalam kehidupan sehari-hari.

Mind Map



Komik Kimia





Gambar 5.1 Mengatasi permasalahan sampah sebagai energi

Sumber : RitaE/pixabay (2013)

Sampah merupakan masalah besar saat ini, terutama di kota-kota besar yang padat penduduk. Minimnya kesadaran masyarakat untuk memilah sampah sesuai dengan jenis bahan dasarnya merupakan salah satu penyebab sulitnya pengolahan sampah. Berdasarkan data dari Badan Statistik Nasional tahun 2014, rata-rata 81% masyarakat Indonesia membuang sampah dengan tidak memilah jenis sampah. Selain itu, pengolahan sampah di beberapa daerah di negara kita belum memaksimalkan potensi energi yang terkandung di dalam sampah.

Negara-negara maju seperti Denmark, Swiss, Amerika, dan Prancis, telah mengatasi masalah sampah dengan pengolahan yang maksimal. Tidak hanya mengatasi bau busuk dari sampah, tetapi mampu mengubah sampah-sampah tersebut menjadi energi listrik.

Berdasarkan fakta tersebut, mengapa sampah dapat diolah dan menghasilkan energi? Bagaimana cara menentukan kalor yang dihasilkan atau dibutuhkan dalam perubahan kimia dan fisika? Ayo, pertanyaan apa lagi yang ingin kalian ajukan berkaitan dengan fakta ini?

A. Hukum Kekekalan Energi

Semua benda di alam semesta memiliki energi. Energi digunakan pada saat benda tersebut berpindah tempat atau berubah bentuk. Ada dua energi yang dimiliki oleh suatu benda, yaitu energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda ketika benda tersebut diam. Adapun energi kinetik adalah energi yang dimiliki suatu benda ketika benda tersebut bergerak. Jumlah dari energi kinetik dan energi potensial disebut dengan energi dalam (energi internal). Energi dalam ini yang dapat dimanfaatkan dalam pengolahan sampah menjadi energi listrik atau panas.

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lain. Salah satu contoh bentuk perubahan energi adalah energi listrik berubah menjadi energi gerak.



Gambar 5.2 Pemanasan balon udara

Sumber: Nicolae Baltatescu/pixabay.com (2021)

Coba amati perubahan energi yang terjadi pada balon udara. Cara kerja balon udara, pertama-tama balon udara diisi dengan gas sampai mengembang. Selanjutnya, gas tersebut dipanaskan sehingga suhu di dalam balon lebih tinggi dibandingkan suhu di luar balon dan gas menjadi memuai. Ketika gas di dalam balon semakin memuai dan energi kinetik gas semakin besar karena proses pemanasan, balon akan bergerak naik akibat terdorong oleh gas yang ada di dalam balon. Coba kalian diskusikan, perubahan energi apa yang terjadi pada kerja balon udara. Tuliskan hasil diskusi kalian di buku tulis masing-masing.

Aktivitas 5.1

Jenis-jenis perubahan energi

Analisis jenis perubahan energi yang terjadi pada kegiatan-kegiatan berikut!

No.	Kegiatan	Jenis perubahan energi
1.	Penggunaan baterai pada mobil mainan.	
2.	Penggunaan baterai pada lampu senter.	
3.	Penggunaan turbin pada pembangkit listrik.	
4.	Penggunaan batu bara pada kereta api.	

Buat kesimpulan dari pengamatan yang sudah kalian lakukan!

Setelah kalian memahami berbagai bentuk perubahan energi, kita lanjutkan pembahasan mengenai termokimia. Termokimia adalah bagian ilmu kimia yang mempelajari kalor yang menyertai perubahan materi. Kalor adalah salah satu bentuk energi yang dapat diterima atau dilepaskan oleh suatu materi. Kalor, energi, dan kerja dapat dihubungkan melalui rumus matematika berikut.

$$\Delta E = q + w$$

Keterangan:
ΔE = perubahan energi dalam (J)
q = jumlah kalor yang diserap atau dilepas sistem (J)
w = kerja yang dilakukan sistem (J)

Nilai q dan w bisa positif atau negatif. Untuk menentukan nilai q dan w digunakan aturan berikut.

- q bernilai positif (+) jika sistem menyerap kalor ($q > 0$).
- q bernilai negatif (–) jika sistem melepas kalor ($q < 0$).

- w bernilai positif (+) jika sistem menerima kerja ($w > 0$).
- w bernilai negatif (–) jika sistem melakukan kerja ($w < 0$).



Contoh

Suatu sistem menyerap kalor sebesar 300 kJ setelah melakukan kerja sebesar 125 kJ. Tentukan perubahan energi yang terjadi!

Pembahasan:

Diketahui: sistem melakukan kerja = –125 kJ
sistem menyerap kalor = +300 kJ

Ditanyakan: perubahan energi dalam?

Jawab: $\Delta E = q + w$
$= 300 \text{ kJ} + (-125 \text{ kJ})$
$= 175 \text{ kJ}$

Jadi, perubahan energi dalam pada sistem tersebut adalah +175 kJ.

B. Sistem dan Lingkungan

Seorang pelajar sedang mengamati perubahan suhu yang terjadi ketika dia melarutkan satu sendok urea ke dalam satu gelas air. Ternyata, ketika dia mengaduk urea dengan sendok, suhu gelas menjadi dingin. Dia melakukan pengamatan tersebut di atas meja. Jika urea beserta air merupakan sistem, sedangkan gelas, sendok, dan meja disebut sebagai lingkungan, dapatkah kalian menyimpulkan, apa itu sistem dan apa itu lingkungan? Silakan diskusikan dengan guru dan teman-temanmu.

Sistem	
Lingkungan	

Sistem dan lingkungan dapat melakukan interaksi berupa pertukaran materi dan energi. Berdasarkan interaksi ini, sistem dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Sistem terbuka, yaitu sistem yang dapat mengalami pertukaran materi dan energi dengan lingkungan.
2. Sistem tertutup, yaitu sistem yang dapat mengalami pertukaran energi dengan lingkungan, tetapi tidak dapat mengalami pertukaran materi.
3. Sistem terisolasi, yaitu sistem yang tidak dapat mengalami pertukaran dengan lingkungan, baik materi maupun energi.



Aktivitas 5.2

Jenis-jenis sistem dalam termokimia

Silakan kalian diskusikan dengan guru dan teman-teman, mengapa contoh-contoh berikut dikatakan sistem terbuka, sistem tertutup, dan sistem terisolasi. Hubungkan dengan pengertian dari ketiga jenis sistem tersebut.

No.	Contoh	Penjelasan
1.	Air panas dalam gelas terbuka adalah sistem terbuka.	
2.	Air panas dalam gelas tertutup adalah sistem tertutup.	
3.	Air panas dalam termos adalah sistem terisolasi.	

C. Reaksi Eksotermik dan Endotermik

Seperti yang sudah dipelajari dalam subbab sebelumnya, kalor dapat mengalami perpindahan. Perpindahan tersebut terjadi dari sistem ke lingkungan atau dari lingkungan ke sistem karena adanya perbedaan suhu.

1. Reaksi eksotermik

Reaksi eksotermik adalah reaksi kimia yang disertai dengan pelepasan kalor dari sistem ke lingkungan. Contohnya reaksi pembakaran.

$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(l)$ + panas

Pada reaksi eksotermik, sistem akan mengalami penurunan energi karena sistem melepaskan kalor (ditandai dengan suhu lingkungan yang naik).

Akibatnya, energi sesudah reaksi (E_2) lebih kecil dari energi sebelum reaksi (E_1), sehingga perubahan energi (ΔE) akan bernilai negatif, $E_2 - E_1 < 0$ (berharga negatif).

2. Reaksi endotermik

Reaksi endotermik adalah reaksi kimia yang disertai dengan penyerapan kalor dari lingkungan ke sistem. Contohnya reaksi fotosintesis.

$$6CO_2(g) + 6H_2O(l) \xrightarrow{\text{cahaya matahari}} C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g)$$

Pada reaksi endotermik, sistem akan mengalami kenaikan energi karena sistem menyerap kalor (ditandai dengan suhu lingkungan yang turun). Akibatnya, energi setelah reaksi (E_2) lebih besar dari energi sebelum reaksi (E_1), sehingga perubahan energi (ΔE) akan bernilai positif, $E_2 - E_1 > 0$ (berharga positif).



Aktivitas 5.3

Menentukan reaksi eksotermik dan endotermik

Tujuan:
Untuk mengetahui reaksi eksotermik dan endotermik berdasarkan hasil percobaan.

Alat:
1. 2 buah gelas piala 100 ml
2. 1 buah gelas ukur 50 ml
3. 1 buah batang pengaduk
4. 1 buah termometer

Bahan:
1. Larutan HCl 0,5 M
2. Larutan HCl 1 M
3. Logam Mg
4. Larutan $NaHCO_3$ 0,5 M

Langkah kerja:
Percobaan 1: Reaksi logam Mg + larutan HCl
1. Ukur volume larutan HCl 0,5 M sebanyak 20 ml menggunakan gelas ukur.
2. Masukkan ke dalam gelas piala 100 ml.

3. Ukur suhunya dan catat.
4. Siapkan logam Mg seberat 0,5 gram.
5. Masukkan logam Mg ke dalam gelas piala yang berisi larutan HCl.
6. Ukur suhu campuran dan catat.
7. Hitung perubahan suhu yang terjadi.

Percobaan 2: Reaksi $NaHCO_3$ dan HCl

1. Ukur volume larutan $NaHCO_3$ 0,5 M sebanyak 20 ml menggunakan gelas ukur.
2. Masukkan ke dalam gelas piala 100 ml.
3. Ukur suhunya dan catat.
4. Ukur volume larutan HCl 1 M sebanyak 20 ml menggunakan gelas ukur.
5. Ukur pula suhunya dan catat.
6. Masukkan larutan HCl ke dalam gelas piala yang berisi larutan $NaHCO_3$.
7. Segera aduk, lalu ukur suhu campuran dan catat.
8. Hitung perubahan suhu yang terjadi.

Pengumpulan data:

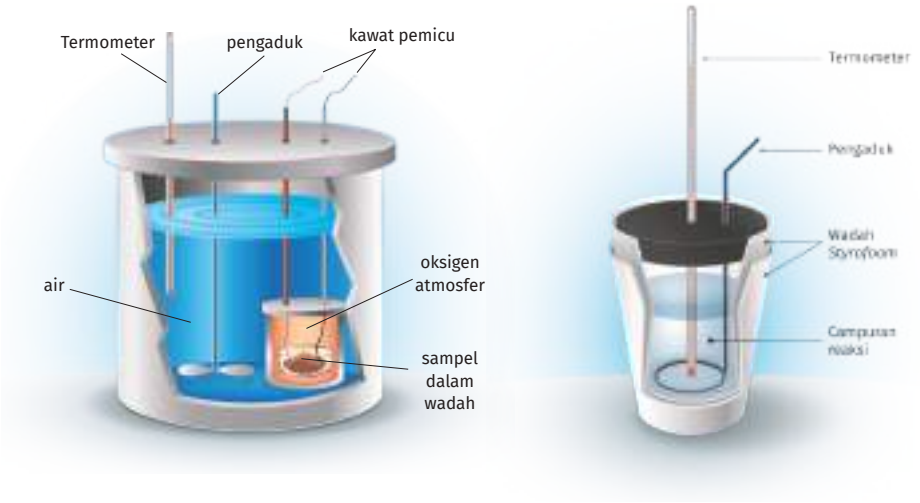
Percobaaan	Suhu awal	Suhu akhir	ΔT
1			
2			

Pertanyaan:

1. Pada percobaan 1, bagaimana perubahan suhu sebelum dan sesudah reaksi? Bagaimana pula dengan percobaan 2?
2. Berdasarkan data yang telah kalian peroleh, manakah yang merupakan reaksi eksotermik dan endotermik? Jelaskan!

D. Kalorimetri

Di laboratorium, pertukaran kalor dalam proses fisika ataupun kimia diukur dengan menggunakan suatu alat yang disebut **kalorimeter**, sedangkan kegiatan pengukuran perubahan kalor dengan menggunakan kalorimeter disebut dengan **kalorimetri**. Kalor yang dilepas oleh satu benda akan diserap oleh benda yang lain sesuai dengan hukum kekekalan energi. Sebenarnya, kalor tidak dapat diukur secara langsung dengan alat, tetapi kita dapat mengukur perubahan suhu dengan menggunakan termometer.



Gambar 5.3 Kalorimeter bom dan kalorimeter sederhana

Tahukah kalian, alat kalorimeter bom digunakan oleh para ahli kimia pangan untuk menentukan kalori yang terdapat dalam bahan makanan? Mengapa demikian? Karena ternyata keadaan awal dan akhir metabolisme tubuh manusia yang sangat kompleks mirip dengan keadaan awal dan akhir pada kalorimeter bom.

Kalorimeter bom dirancang secara khusus agar tidak ada kalor yang keluar ataupun masuk kalorimeter bom, sehingga:

$$q_{\text{reaksi}} = -q_{\text{kalorimeter}}$$

Kapasitas kalor adalah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu benda sebesar 1°C. Antara suhu dan kalor dihubungkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$q = C.\Delta T$$

Keterangan:
q = kalor yang dilepaskan/diserap (J)
C = kapasitas kalor (J.°C^{-1})
ΔT = perubahan suhu (°C)

Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang diserap atau diperlukan oleh 1 gram zat untuk menaikkan suhu sebesar 1°C. Jika kita menghitung kalor suatu zat berdasarkan massa zat tersebut maka digunakan persamaan berikut.

$$q = m.c.\Delta T$$

Keterangan:
q = kalor yang dilepaskan/diserap (J)
m = massa (g)
c = kalor jenis ($J.g^{-1}.°C^{-1}$)
ΔT = perubahan suhu (°C)



Contoh

Seorang ahli kimia pangan akan menghitung jumlah kalori yang terdapat dalam laktosa. Dia memasukkan laktosa sebanyak 200 mg ke dalam kalorimeter bom dan dibakar sehingga terjadi perubahan suhu dari 20°C menjadi 20,9°C. Jika kapasitas kalor kalorimeter bom adalah 420 $J.°C^{-1}$, berapakah kalori dari laktosa tersebut?

Pembahasan:
Pada proses pembakaran laktosa dalam kalorimeter bom terjadi kenaikan suhu, di mana sistem melepaskan kalor dan lingkungan (kalorimeter) menyerap kalor (sesuai dengan hukum kekekalan energi).
Kalor yang diserap kalorimeter bom adalah:

$q_{kal} = C_{kal}.\Delta T$
$= 420\ J.°C^{-1} \times (20{,}9 - 20)°C$
$= 378\ J$

Dari hasil percobaan, ternyata diperoleh kalor yang diserap oleh kalorimeter adalah 378 joule, artinya sistem (laktosa) melepaskan kalor sebesar 378 joule.
Jadi, q_{sistem} = 378 joule.

E. Entalpi dan Perubahan Entalpi

Reaksi kimia lebih banyak dilakukan pada kondisi tekanan tetap, sehingga diperkenalkan fungsi termodinamika lain yang disebut dengan **entalpi (H)**. Ketika reaksi sedang berlangsung pada tekanan tetap, sistem dapat melakukan pertukaran kalor (q_p) dan melakukan kerja (w), sehingga dapat digunakan rumus berikut untuk menghitung harga ΔE.

$$\Delta E = q_p + w$$
$$\Delta E = q_p - P.\Delta V$$
$$q_p = \Delta E + P.\Delta V$$

Karena P tetap maka $P.\Delta V = \Delta(PV)$ dan persamaannya menjadi:

$$q_p = \Delta(E + PV)$$

Kombinasi $(E + PV)$ yang ada di ruas kanan didefinisikan sebagai entalpi (H).

$$H = E + PV$$

Sehingga pada tekanan tetap berlaku:

$$q_p = \Delta(E + PV) = \Delta H$$

Seperti sudah dibahas sebelumnya, reaksi kimia banyak berlangsung dalam kondisi tekanan tetap, sehingga pertukaran kalor sama dengan perubahan entalpi. Perubahan entalpi dapat didefinisikan dengan persamaan:

$$\Delta H = H_{\text{akhir}} - H_{\text{awal}}$$

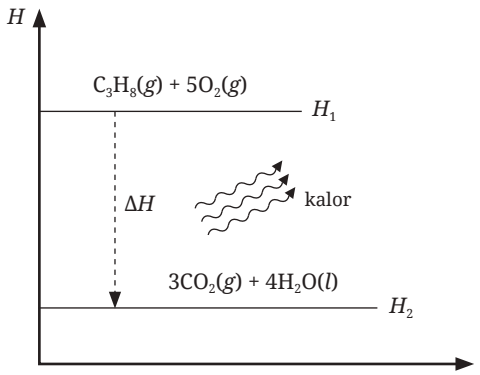
atau dapat ditulis:

$$\Delta H = H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}}$$

Perubahan entalpi dapat bernilai positif dan negatif.

Pada subbab C, telah dibahas mengenai reaksi eksotermik dan endotermik. Pada reaksi eksotermik, energi akhir (berupa entalpi, H_2) lebih kecil daripada energi awal (H_1) karena sistem melepaskan kalor, sehingga harga $\Delta H < 0$.

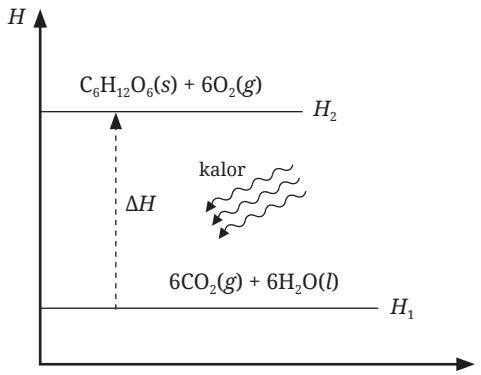
$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(l)$



Gambar 5.4 Grafik perubahan entalpi reaksi eksotermik

Pada reaksi endotermik, energi akhir (berupa entalpi, H_2) lebih besar dibandingkan energi awal (H_2) karena sistem menyerap kalor, sehingga harga $\Delta H > 0$.

$$6CO_2(g) + 6H_2O(l) \xrightarrow{\text{cahaya matahari}} C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g)$$



Gambar 5.5 Grafik perubahan entalpi reaksi endotermik

Seperti yang sudah dipaparkan di subbab D, kalorimeter bom merupakan sistem yang terisolasi, tidak adanya pertukaran kalor dari sistem ke lingkungan, sehingga kalor reaksi pada kalorimeter dapat dinyatakan dengan:

$$q_{\text{reaksi}} = -(q_{\text{sistem}} + q_{\text{kalorimeter}})$$

Kalor yang diserap oleh kalorimeter sangat kecil (420 J.°C^{-1}), seringkali diabaikan, sehingga persamaan di atas dapat ditulis:

$$q_{\text{reaksi}} = -q_{\text{sistem}}$$

Pada tekanan tetap:

$$q_{\text{reaksi}} = \Delta H$$

Contoh

Sebanyak 100 ml larutan NaOH 0,02 M direaksikan dengan 100 ml larutan HCl 0,02 M dalam kalorimeter sederhana. Suhu awal dari kedua larutan tersebut adalah 22,5°C. Jika setelah reaksi, suhu campuran menjadi 24,6°C, hitunglah perubahan entalpi (ΔH) untuk reaksi penetralan tersebut!

Catatan:
Karena massa zat terlarut sangat kecil maka massa jenis larutan dianggap sama dengan massa jenis air = 1 g.ml^{-1}, kalor jenis air = 4,2 J.g^{-1}.°C^{-1}, dan diasumsikan panas yang dilepaskan ke kalorimeter diabaikan.

Pembahasan:
Massa campuran = massa NaOH + massa HCl
= (100 ml × 1 g.ml^{-1}) + (100 ml × 1 g.ml^{-1})
= 200 gram
Perubahan suhu (ΔT) = (24,6 – 22,5)°C = 2,1°C
Kalor yang dilepaskan dari reaksi diterima oleh larutan, sehingga:
$q_{larutan} = -q_{reaksi}$
Untuk menghitung perubahan kalor yang terjadi, gunakan persamaan berikut.
$q_{larutan} = m.c.\Delta T$
= 200 g × 4,2 J.g^{-1}.°C^{-1} × 2,1°C
= 1.764 J
= 1,764 kJ
q_{reaksi} = –1,764 kJ
q_{reaksi} merupakan kalor yang dilepaskan ketika mereaksikan 100 ml NaOH 0,02 M (0,002 mol NaOH) dan 100 ml HCl 0,02 M (0,002 mol HCl).
Adapun pada reaksi penetralan:
$NaOH(aq) + HCl(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$
kalor penetralannya berlaku untuk 1 mol NaOH dan 1 mol HCl, sehingga:
$$q_{reaksi} = \frac{1}{0,002} \times (-1,764 \text{ kJ})$$
$$= -882 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

Pada tekanan tetap, $q_{reaksi} = \Delta H$ sehingga ΔH = –882 kJ.mol^{-1}.

Catatan:
100 ml NaOH 0,02 M = 2 mmol = 0,002 mol
100 ml HCl 0,02 M = 2 mmol = 0,002 mol

Untuk mengukur perubahan entalpi suatu reaksi pada tekanan tetap, dapat dilakukan melalui percobaan. Lakukan percobaan di bawah ini secara berkelompok, olah data hasil percobaan yang kalian dapatkan, buat kesimpulan, dan komunikasikan hasil percobaan kalian dengan teman-teman sekelas.

Aktivitas 5.4

Mengukur perubahan entalpi menggunakan kalorimeter

Alat dan bahan:

1. Satu set alat kalorimeter sederhana
2. Air
3. NaCl

Langkah kerja:

1. Timbang air sebanyak 125 gram, masukkan ke dalam kalorimeter sederhana.
2. Ukur suhu awal air dalam kalorimeter dan catat.
3. Timbang NaCl sebanyak 5 gram, masukkan ke dalam kalorimeter.
4. Tutup kalorimeter dan aduk.
5. Ukur suhu akhir larutan dan catat.
6. Tentukan kalor pelarutan NaCl tersebut berdasarkan data hasil percobaan.

Pertanyaan:

1. Hitunglah perubahan entalpi pada pelarutan NaCl, jika kalor jenis larutan = kalor jenis air = 4,2 $J.g^{-1}.°C^{-1}$, kapasitas kalorimeter = 0 $J.°C^{-1}$, massa jenis air = massa jenis larutan = 1 $g.ml^{-1}$, dan M_r NaCl = 58,5.
2. Buat kesimpulan dari percobaan yang sudah kalian lakukan. Apakah proses tersebut berlangsung secara eksotermik atau endotermik? Jelaskan!

Setelah mempelajari contoh soal dan melakukan percobaan mengenai penentuan kalor dengan menggunakan kalorimetri, ayo berlatih menghitung kalor reaksi dari data percobaan kalorimetri pada soal-soal berikut.

Ayo Berlatih

1. Asam benzoat merupakan zat yang sering digunakan untuk mengawetkan minuman ringan atau sirup. Seorang ahli kimia pangan meneliti jumlah kalori yang terdapat dalam asam benzoat. Dia memasukkan

500 mg asam benzoat ke dalam kalorimeter bom dan terjadi perubahan suhu dari 20°C menjadi 22,87°C. Jika kapasitas kalor kalorimeter bom adalah 420 J.°C^{-1}, hitung jumlah kalori yang terdapat dalam asam benzoat tersebut!

2. Seorang pelajar melakukan percobaan di laboratorium sekolahnya. Dia ingin mengetahui jumlah kalor yang menyertai reaksi penetralan 150 ml larutan HCl 0,01 M dengan 150 ml larutan KOH 0,01 M. Dia mereaksikan kedua larutan tersebut di dalam kalorimeter sederhana. Setelah reaksi berlangsung terjadi kenaikan suhu sebesar 3,2°C. Berapakah perubahan entalpi pada reaksi tersebut jika kalor jenis larutan = kalor jenis air = 4,2 J.g^{-1}.°C^{-1} dan massa jenis larutan = massa jenis air = 1 g.ml^{-1}?

3. Pada proses pelarutan 1,7 gram $NaNO_3$ dalam 100 gram air terjadi penurunan suhu sebesar 1,56°C. Hitung kalor yang menyertai reaksi pelarutan tersebut jika kalor jenis larutan = 4,2 J.g^{-1}.°C^{-1}, kapasitas kalor kalorimeter = 11,7 J.°C^{-1}, dan M_r $NaNO_3$ = 85!

F. Persamaan Termokimia

Persamaan termokimia merupakan persamaan reaksi kimia yang menyertakan jumlah kalor yang terlibat di dalam reaksi tersebut. Kalor yang terlibat dalam reaksi tersebut dilambangkan dengan ΔH. Jika reaksi tersebut melepaskan kalor dari sistem ke lingkungan (reaksi eksotemik), maka ΔH akan berharga negatif. Sebaliknya, jika reaksi tersebut berlangsung dengan menyerap kalor dari lingkungan ke sistem (reaksi endotermik), maka ΔH akan berharga positif.

Perhatikan contoh-contoh persamaan termokimia berikut.

1. $2P(s) + 3Br_2(l) \longrightarrow 2PBr_3(g) \qquad \Delta H = -242$ kJ
   Artinya, reaksi antara 2 mol posporus merah dengan 3 mol bromin akan melepaskan kalor reaksi sebesar 242 kJ (ΔH negatif).

2. $P(s) + \frac{3}{2} Br_2(l) \longrightarrow PBr_3(g) \qquad \Delta H = -121$ kJ

   Perhatikan koefisien masing-masing zat dan harga perubahan entalpi. Persamaan termokimia ini merupakan setengah dari persamaan termokimia yang pertama, sehingga harga perubahan entalpinya juga setengah dari

ΔH persamaan termokimia pertama. Pada persamaan termokimia, koefisien reaksi boleh berupa pecahan karena merupakan jumlah zat dalam satuan mol.

3. $H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g)$ $\Delta H = +40{,}7$ kJ.mol^{-1}
   Artinya, untuk menguapkan 1 mol air diserap kalor sebesar 40,7 kJ (ΔH positif).
   Sedangkan ketika reaksi berlangsung sebaliknya:
   $H_2O(g) \longrightarrow H_2O(l)$ $\Delta H = -40{,}7$ kJ.mol^{-1}
   terjadi pelepasan kalor sehingga harga ΔH menjadi negatif.

Agar kalian lebih paham lagi, yuk berlatih dengan mengerjakan soal-soal latihan berikut.



Ayo Berlatih

1. Jelaskan arti dari persamaan termokimia berikut!
   $C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -393{,}5$ kJ.mol^{-1}
2. Tuliskan persamaan termokimia dari pernyataan berikut!
   Untuk pembakaran sempurna 1 mol metanol (CH_3OH) menjadi gas CO_2 dan uap air, dilepaskan kalor sebesar 692,6 kJ.
3. Pada reaksi pembakaran 2 mol gas NO menjadi gas NO_2, dilepaskan kalor sebesar 114,14 kJ, menurut reaksi:
   $2NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ $\Delta H = -114{,}14$ kJ
   Hitunglah kalor yang dilepaskan jika 1,5 gram gas NO dibakar pada tekanan tetap! (M_r NO = 30)
4. Kalor yang dilepaskan ketika terjadi reaksi pembakaran gas CO menjadi CO_2 adalah –283,0 kJ.mol^{-1}, menurut reaksi:
   $CO(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -283{,}0$ kJ.mol^{-1}
   Hitunglah kalor yang diserap jika 1,1 gram gas CO_2 diuraikan menjadi gas CO dan oksigen! (A_r C = 12, O = 16)

G. Perubahan Entalpi dalam Keadaan Standar

Entalpi reaksi sama halnya dengan energi mutlak, tidak dapat diukur. Hanya perubahan entalpilah yang dapat diukur atau dihitung. Terdapat satu kondisi sebagai acuan untuk menentukan perubahan entalpi standar dari suatu reaksi.

Nilai suhu yang umum digunakan pada perubahan entalpi standar adalah 25°C. Perubahan entalpi standar dilambangkan dengan $\Delta H°$. Beberapa perubahan entalpi standar di antaranya perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f^o), perubahan entalpi penguraian standar (ΔH_d^o), perubahan entalpi pembakaran standar (ΔH_c^o), dan perubahan entalpi pelarutan standar (ΔH_s^o).

1. Perubahan entalpi pembentukan standar

Perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f^o) adalah perubahan entalpi yang terjadi dalam pembentukan 1 mol senyawa **dari unsur-unsurnya yang paling stabil** pada keadaan standar (298 K, 1 atm, 1 molar).

Perhatikan persamaan termokimia berikut.

$$H_2(g) + \frac{1}{2}\ O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) \qquad \Delta H_f^o = -241{,}8 \text{ kJ}$$

Artinya, perubahan entalpi yang dilepaskan (ΔH negatif) untuk membentuk 1 mol gas H_2O dari unsur-unsurnya pada keadaan standar adalah 214,8 kJ.



Contoh

1. Perhatikan tiga persamaan termokimia berikut.

   $H_2O(l) + SO_3(g) \longrightarrow H_2SO_4(l) \qquad \Delta H = -x \text{ kJ}$
   $2H^+(g) + SO_4^{2-}(aq) \longrightarrow H_2SO_4(l) \qquad \Delta H = -y \text{ kJ}$
   $H_2(g) + S(s) + 2O_2(g) \longrightarrow H_2SO_4(l) \qquad \Delta H = -z \text{ kJ}$

   Menurut kalian, manakah dari ketiga persamaan termokimia di atas yang menunjukkan perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f^o) dari H_2SO_4?

   Pembahasan:
   Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f^o) adalah perubahan entalpi yang diserap/dilepaskan dalam pembentukan 1 mol senyawa dari unsur-unsurnya. Maka, yang merupakan ΔH_f^o dari H_2SO_4 adalah persamaan termokimia yang ketiga,

karena pada reaksi tersebut 1 mol H_2SO_4 terbentuk dari unsur-unsurnya, yaitu hidrogen (gas H_2), belerang (padatan S), dan oksigen (gas O_2).

Pada reaksi pertama, H_2SO_4 terbentuk dari H_2O (senyawa) dan SO_3 (senyawa). Adapun pada reaksi kedua, H_2SO_4 terbentuk dari ion $2H^+$ dan ion SO_4^{2-}.

2. Perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f^o) NaOH adalah –463,96 kJ.mol^{-1}. Hitunglah perubahan entalpi yang dilepaskan/diserap untuk pembentukan 5 gram NaOH dari unsur-unsurnya! (M_r NaOH = 40)

Pembahasan:

Persamaan termokimia pembentukan NaOH standar adalah:

$$Na(s) + \frac{1}{2}O_2(g) + \frac{1}{2}H_2(g) \longrightarrow NaOH(s) \qquad \Delta H_f^o = -463{,}96 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

Dari persamaan termokimia tersebut, kita peroleh data bahwa harga mol NaOH pada keadaan standar adalah 1 mol dan $\Delta H_f^o = -463{,}96$ kJ.mol^{-1}.

5 gram NaOH setara dengan $\frac{5 \text{ g}}{40 \text{ g.mol}^{-1}} = 0{,}125$ mol.

ΔH untuk membentuk 5 gram NaOH dari unsur-unsurnya adalah:

$$\Delta H = \frac{0{,}125 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times (-463{,}96 \text{ kJ.mol}^{-1}) = -57{,}995 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

Berikut adalah tabel perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f^o) beberapa senyawa.

Tabel 5.2 Perubahan entalpi pembentukan standar dari beberapa senyawa

Senyawa	ΔH_f^o (kJ.mol^{-1})	Senyawa	ΔH_f^o (kJ.mol^{-1})
$H_2O(l)$	–285,80	$CH_3OH(g)$	–200,66
$H_2O(s)$	–292,00	$CCl_4(l)$	–135,44
$H_2O(g)$	–242,00	$NH_3(g)$	–46,11
$CO_2(g)$	–393,50	$HNO_3(l)$	–174,10
$CO(g)$	–110,50	$NO(g)$	+90,25
$NaCl(s)$	–411,15	$NO_2(g)$	+33,20

Senyawa	ΔH_f^o (kJ.mol^{-1})	Senyawa	ΔH_f^o (kJ.mol^{-1})
$CH_4(g)$	–74,80	$PCl_3(g)$	–287,0
$C_2H_2(g)$	+227	$CO(NH_2)_2(s)$	–333,51
$CaO(s)$	–635,09	$SO_2(g)$	–296,83
$CaCl_2(s)$	–795,8	$C_4H_{10}(g)$	–126

Berdasarkan kesepakatan internasional, perubahan entalpi pembentukan standar unsur-unsur dalam bentuk stabil memiliki harga nol.



Ayo Berlatih

1. Tuliskan persamaan termokimia dari:
   a. ΔH_f^o $HNO_2(g)$ = –79,5 kJ.mol^{-1}
   b. ΔH_f^o $HCl(g)$ = –92,31 kJ.mol^{-1}
   c. ΔH_f^o $CaCO_3(s)$ = –1.206,92 kJ.mol^{-1}
2. Tuliskan persamaan termokimia jika pada pembentukan 1 mol gas propana (C_3H_8) dari unsur-unsurnya dilepaskan kalor sebesar –103,85 kJ.mol^{-1}!
3. Sebanyak 170 gram gas H_2S diproduksi dari unsur-unsur pembentuknya. Pada reaksi tersebut, dilepaskan kalor sebesar –101 kJ.mol^{-1}. Jika kita akan membentuk gas H_2S dalam keadaan standar, berapakah kalor yang akan dilepaskan?

Perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f^o) dapat digunakan untuk menentukan harga perubahan entalpi reaksi yang lain. Sebagai contoh, reaksi kimia berikut.

$CO_2(g) + H_2(g) \longrightarrow CO(g) + H_2O(g)$

Diketahui ΔH_f^o CO_2 = –393,5 kJ.mol^{-1}; ΔH_f^o CO = –110,50 kJ.mol^{-1}; dan ΔH_f^o H_2O = –242,0 kJ.mol^{-1}.

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \sum \Delta H^o_{f\ \text{produk}} - \sum \Delta H^o_{f\ \text{reaktan}}$$

$\underbrace{CO_2(g) + H_2(g)}_{\text{reaktan}} \longrightarrow \underbrace{CO(g) + H_2O(g)}_{\text{produk}}$

$$\begin{aligned}\Delta H^o_{f\ \text{reaksi}} &= [\Delta H^o_f\ CO + \Delta H^o_f\ H_2O] - [\Delta H^o_f\ CO_2 + \Delta H^o_f\ H_2] \\ &= [-110{,}50\ \text{kJ.mol}^{-1} + (-242{,}0\ \text{kJ.mol}^{-1})] - [-393{,}50\ \text{kJ.mol}^{-1} + 0] \\ &= -41\ \text{kJ.mol}^{-1}\end{aligned}$$

Persamaan termokimia untuk reaksi tersebut adalah:

$CO_2(g) + H_2(g) \longrightarrow CO(g) + H_2O(g) \qquad \Delta H = -41\ \text{kJ.mol}^{-1}$

Ayo Berlatih

1. Reaksi pembakaran gas metana berlangsung sebagai berikut.

   $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$

   Jika diketahui $\Delta H^o_f\ CH_4 = -74{,}8\ \text{kJ.mol}^{-1}$; $\Delta H^o_f\ CO_2 = -393{,}5\ \text{kJ.mol}^{-1}$; dan $\Delta H^o_f\ H_2O = -241{,}8\ \text{kJ.mol}^{-1}$, hitunglah perubahan entalpi pembakaran 1 mol gas metana tersebut!

2. Jika 1 mol metanol dibakar dalam keadaan standar, akan menghasilkan kalor sebesar 726,9 kJ.mol^{-1} menurut persamaan termokimia:

   $CH_3OH(g) + \frac{3}{2} O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) \qquad \Delta H = -726,9\ \text{kJ.mol}^{-1}$

   Jika diketahui $\Delta H^o_f\ CO_2 = -393{,}5\ \text{kJ.mol}^{-1}$ dan $\Delta H^o_f\ H_2O = -241{,}8\ \text{kJ.mol}^{-1}$, hitunglah perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH^o_f) metanol!

3. Diketahui $\Delta H^o_f\ CO_2 = -393{,}5\ \text{kJ.mol}^{-1}$; $\Delta H^o_f\ H_2O = -241{,}8\ \text{kJ.mol}^{-1}$; dan $\Delta H^o_f\ C_3H_8 = -104\ \text{kJ.mol}^{-1}$. Jika persamaan termokimia dari reaksi pembakaran gas propana adalah:

   $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(l) \qquad \Delta H = x\ \text{kJ.mol}^{-1}$

   hitunglah perubahan entalpi pada reaksi pembakaran 1,1 gram gas propana! ($M_r\ C_3H_8 = 44$)

2. Perubahan entalpi penguraian standar

Perubahan entalpi penguraian standar (ΔH_d^o) adalah perubahan entalpi yang terjadi pada penguraian 1 mol senyawa menjadi unsur-unsurnya yang stabil pada keadaan standar (298 K, 1 atm, 1 molar).

Contoh:
Jika pada bahasan sebelumnya dibahas mengenai entalpi pembentukan standar (ΔH_f^o) H_2O:

$$H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) \qquad \Delta H_f^o = -241{,}8 \text{ kJ}$$

maka untuk entalpi penguraian standar (ΔH_d^o) H_2O adalah:

$$H_2O(g) \longrightarrow H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \qquad \Delta H_d^o = +241{,}8 \text{ kJ}$$

Artinya, perubahan entalpi yang diserap (ΔH positif) untuk menguraikan 1 mol gas H_2O menjadi unsur-unsurnya pada keadaan standar adalah 241,80 kJ.

3. Perubahan entalpi pelarutan standar

Perubahan entalpi pelarutan standar (ΔH_s^o) adalah perubahan entalpi yang terjadi pada pelarutan 1 mol senyawa pada keadaan standar (298 K, 1 atm, 1 molar).

Contoh:

$$HCl(g) \longrightarrow HCl(aq) \qquad \Delta H_s^o = -75{,}14 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

Artinya, perubahan entalpi yang dilepaskan (ΔH negatif) pada pelarutan 1 mol HCl dalam keadaan standar adalah 75,14 kJ.

Penamaan perubahan entalpi untuk reaksi yang lain disesuaikan dengan jenis reaksinya.

H. Hukum Hess

Entalpi adalah suatu fungsi keadaan yang hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir reaksi, tanpa peduli tahapan-tahapan reaksi dari awal sampai akhir. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, perubahan entalpi (ΔH) dapat dihitung dengan mengukur kalor pada keadaan tetap, tetapi tidak semua reaksi dapat diketahui perubahan kalornya.

Pada tahun 1840, seorang ilmuwan kimia bernama Germain Henri Hess melakukan manipulasi pada persamaan termokimia untuk menghitung perubahan entalpi (ΔH) dan dikenal dengan **hukum Hess**.

"Apabila sebuah reaksi berlangsung dalam dua tahap reaksi atau lebih maka perubahan entalpi terhadap reaksi tersebut akan bernilai sama dengan jumlah perubahan entalpi dari seluruh tahapan yang terjadi."

(Hukum Hess)



Germain Henri Hess

Sumber: P.A. Smirnov/wikimedia.org

Beberapa reaksi kimia dapat berlangsung melalui beberapa tahapan, misalnya reaksi pembakaran karbon. Jika karbon dibakar dengan menggunakan gas oksigen yang berlebih, maka akan terbentuk gas karbon dioksida, menurut reaksi berikut.

$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -393{,}5 \text{ kJ}$

Perkiraan perubahan reaksi tersebut dapat berlangsung dalam dua tahap.

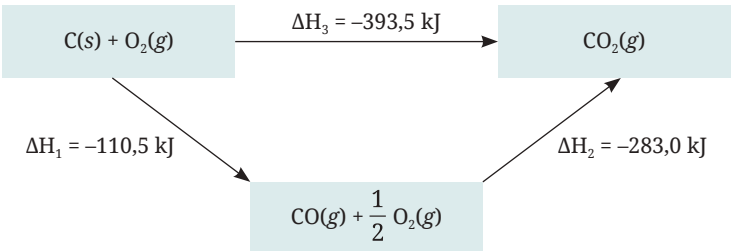
Tahap 1: $C(s) + \frac{1}{2} O_2(g) \longrightarrow CO(g) \qquad \Delta H = -110{,}5 \text{ kJ}$

Tahap 2: $CO(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -283{,}0 \text{ kJ}$

Jika kedua tahap di atas digabungkan maka akan terbentuk reaksi berikut.

$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -393{,}5 \text{ kJ}$

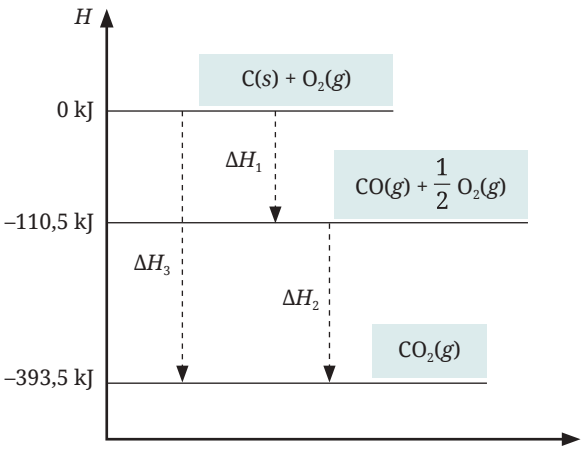
Hukum Hess dapat dinyatakan dalam bentuk diagram siklus atau diagram tingkat energi. Untuk reaksi pembakaran karbon di atas, kalian dapat memerhatikan gambar berikut.



Gambar 5.6 Diagram siklus pembentukan CO_2

Gambar di atas merupakan diagram siklus dari reaksi pembakaran karbon. Dapat kalian lihat bahwa harga ΔH_3 merupakan penjumlahan dari ΔH_1 dan ΔH_2.

Perhatikan pula gambar di bawah ini.



Gambar 5.7 Diagram tingkat energi pembentukan CO_2

Gambar 5.7 merupakan diagram tingkat energi dari reaksi pembakaran karbon. Coba kalian perhatikan, jika harga ΔH_1 = –110,5 kJ dan ΔH_3 = –393,5 kJ, bisakah kalian menentukan berapakah harga ΔH_2? Ya, harga ΔH_2 dapat kalian tentukan dari harga ΔH_1 dan ΔH_3. Perhatikan pula arah panahnya. ΔH_3 adalah gabungan (jumlah) dari ΔH_1 dan ΔH_2, sehingga kita dapat menuliskan persamaan matematikanya sebagai berikut.

$$\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$$
$$-393{,}5 \text{ kJ} = -110{,}5 \text{ kJ} + \Delta H_2$$
$$\Delta H_2 = -393{,}5 \text{ kJ} + 110{,}5 \text{ kJ} = -283{,}0 \text{ kJ}$$

Agar kalian lebih paham tentang hukum Hess, pelajari contoh soal berikut.

Contoh

Pada proses pembuatan asam sulfat, terdapat reaksi pembakaran sulfur (belerang) menjadi gas belerang trioksida. Reaksi tersebut dapat melalui dua tahap.

Tahap 1: $S(s) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)$ $\quad \Delta H = -296{,}8$ kJ

Tahap 2: $2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$ $\quad \Delta H = -197{,}8$ kJ

a. Tentukan ΔH untuk reaksi $2S(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$ berdasarkan hukum Hess.
b. Buat diagram siklus dari reaksi tersebut.
c. Buat diagram tingkat energi dari reaksi tersebut.

Pembahasan:

a. Kita akan menyusun ulang kedua reaksi (tahap 1 dan 2) menjadi reaksi akhir, yaitu:
$2S(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$

Pada reaksi akhir, posisi unsur S berada di ruas kiri. Pada reaksi tahap 1 pun unsur S ada di ruas kiri, sehingga reaksi tidak perlu dibalik. Namun, pada reaksi akhir, koefisien unsur S adalah 2, sedangkan pada reaksi tahap 1 koefisiennya 1, maka reaksi tahap 1 kita kali 2 menjadi:

Tahap 1: $2S(s) + 2O_2(g) \longrightarrow 2SO_2(g)$ $\quad \Delta H = -593{,}6$ kJ

Selanjutnya, pada reaksi akhir terdapat senyawa SO_3 dengan koefisien 2, sama dengan koefisien SO_3 pada reaksi tahap 2. Begitu pula dengan posisinya, sama-sama berada di ruas kanan, sehingga reaksi tahap 2 kita tulis kembali.

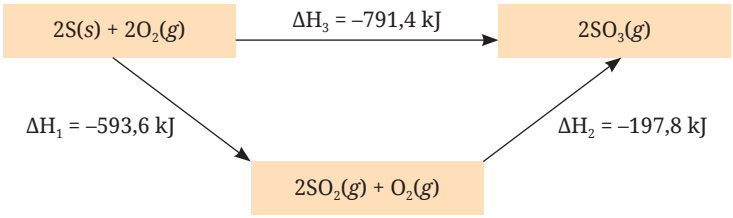
Tahap 2: $2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$ $\quad \Delta H = -197{,}8$ kJ

Sekarang, kita jumlahkan kedua reaksi tersebut.

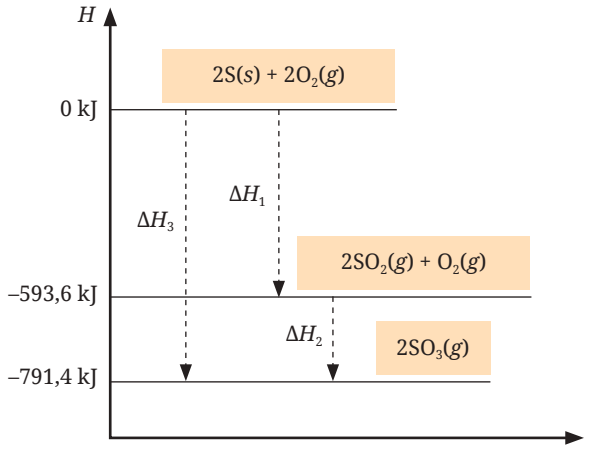
Tahap 1: $2S(s) + 2O_2(g) \longrightarrow 2SO_2(g)$ $\quad \Delta H = -593{,}6$ kJ
Tahap 2: $2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$ $\quad \Delta H = -197{,}8$ kJ +

$2S(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$ $\quad \Delta H = -791{,}4$ kJ

b. Diagram siklusnya:



c. Diagram tingkat energinya:



Setelah kalian memahami tentang hukum Hess, mari kita berlatih beberapa soal berikut ini.

Ayo Berlatih

1. Pada pembuatan tapai, terjadi fermentasi glukosa menjadi alkohol menurut reaksi berikut.

   $C_6H_{12}O_6(s) \longrightarrow 2C_2H_5OH(aq) + 2CO_2(g)$

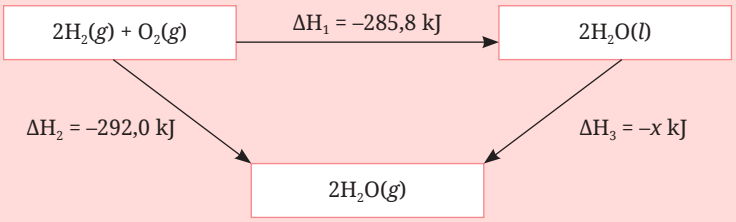
   Reaksi fermentasi tersebut berlangsung dua tahap, yaitu:

   Tahap 1: $C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g) \longrightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l)$ $\quad \Delta H = -2.820$ kJ

   Tahap 2: $2CO_2(g) + 3H_2O(l) \longrightarrow C_2H_5OH(aq) + 3O_2(g)$ $\quad \Delta H = -1.380$ kJ

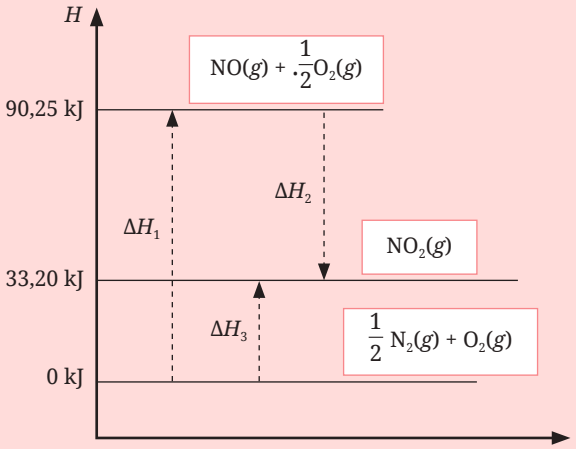
Berdasarkan data tersebut, tentukan harga perubahan entalpi reaksi fermentasi glukosa menjadi alkohol!

2. Perhatikan diagram siklus dari perubahan wujud air berikut.



Berdasarkan data diagram siklus di atas, hitunglah perubahan entalpi yang menyertai perubahan wujud air dari cair menjadi gas!

3. Perhatikan diagram tingkat energi reaksi pembentukan gas NO_2 berikut.



Berdasarkan data di atas, tentukan harga ΔH_2!

I. Energi Ikatan

Di Bab II kalian sudah belajar mengenai ikatan kovalen. Untuk memutuskan setiap ikatan kovalen dibutuhkan energi. Semakin kuat ikatan antaratom maka energi yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan tersebut akan semakin besar. Energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan dari suatu molekul yang berwujud gas disebut dengan **energi ikatan rata-rata**.

Perhatikan Tabel 5.3 di bawah ini. Antaratom karbon memiliki tiga jenis ikatan, yaitu ikatan tunggal, ikatan rangkap dua, dan ikatan rangkap tiga. Coba kalian diskusikan, mengapa ikatan C rangkap tiga memiliki energi ikatan lebih besar dibandingkan energi ikatan C rangkap dua dan tunggal, serta mengapa energi ikatan C rangkap dua lebih besar dari energi ikatan C tunggal.

Berikut adalah beberapa nilai energi ikatan rata-rata dari beberapa ikatan kovalen.

Tabel 5.3 Beberapa nilai energi ikatan rata-rata (kJ.mol^{-1})

Ikatan	Energi ikatan rata-rata (kJ.mol^{-1})	Ikatan	Energi ikatan rata-rata (kJ.mol^{-1})	Ikatan	Energi ikatan rata-rata (kJ.mol^{-1})
C—H	414	H—H	436,4	N—P	209
C—C	347	H—N	460	N—O	176
C═C	620	H—O	393	O—O	142
C≡C	812	H—S	368	O═O	498,7
C—N	276	H—P	326	O═P	502
C═N	615	H—F	568,2	O═S	469
C≡N	891	H—Cl	431,9	P—P	197
C—O	351	H—Br	366,1	P═P	489
C═O	745	H—I	298,3	S—S	268
C—P	263	N—N	193	S═S	325
C—S	255	N═N	418	F—F	146,9
C═S	477	N≡N	914,4	Cl—Cl	242,7
C—Cl	238				

Reaksi kimia merupakan proses penyusunan ulang suatu zat (reaktan) menjadi zat lain (produk). Pada proses penyusunan ulang tersebut, terjadi peristiwa pemutusan ikatan (pada reaktan) dan pembentukan ikatan (pada produk). Ketika terjadi proses pemutusan dan pembentukan ikatan tersebut, ada energi yang terlibat. Selisih antara jumlah energi ikatan yang terputus dan jumlah energi ikatan yang terbentuk, menghasilkan perubahan entalpi reaksi (ΔH), sehingga dapat ditulis dalam persamaan matematika:

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \sum \text{energi ikatan terputus} - \sum \text{energi ikatan terbentuk}$$

Contoh

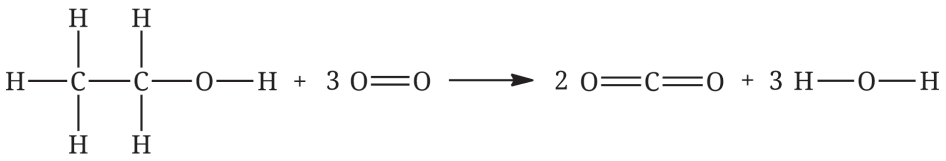
Ketika kalian praktikum di laboratorium dan melakukan proses pembakaran, umumnya digunakan pembakar spiritus. Salah satu bahan dasar dari spiritus adalah etanol. Ketika etanol tersebut dibakar maka akan terjadi reaksi:

$C_2H_5OH(aq) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$

Berdasarkan data energi ikatan pada Tabel 5.3, hitunglah perubahan entalpi pada reaksi pembakaran etanol tersebut!

Pembahasan:

Untuk menentukan jumlah energi pemutusan dan pembentukan ikatan dalam suatu reaksi kimia, maka perlu kita gambarkan terlebih dahulu struktur ikatannya.



pemutusan ikatan — pembentukan ikatan

Jumah energi pemutusan:

5 × C—H = 5 × 414 kJ.mol^{-1}	= 2.070	kJ.mol^{-1}
C—C	= 347	kJ.mol^{-1}
C—O	= 359	kJ.mol^{-1}
O—H	393	kJ.mol^{-1}
3 × O=O = 3 × 498,7 kJ.mol^{-1}	= 1.496,1	kJ.mol^{-1}
	= 4.657,1	kJ.mol^{-1}

Jumlah energi pembentukan ikatan:

4 × C=O = 4 × 745 kJ.mol^{-1}	= 2.980	kJ.mol^{-1}
6 × O=H = 6 × 393 kJ.mol^{-1}	= 2.358	kJ.mol^{-1}
	= 5.338	kJ.mol^{-1}

ΔH_{reaksi} = 4.657,1 kJ.mol^{-1} – 5.338 kJ.mol^{-1}
= –680,9 kJ.mol^{-1}

Jadi, perubahan entalpi reaksi pembakaran etanol adalah 680,9 kJ.mol^{-1}.

Agar kalian lebih memahami cara menentukan harga perubahan entalpi berdasarkan data energi ikatan, coba kalian kerjakan soal-soal berikut ini.

Ayo Berlatih

1. Hitunglah perubahan entalpi dari reaksi-reaksi di bawah ini dengan menggunakan data energi ikatan pada Tabel 5.3!
   a. $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$
   b. $2NH_3(g) \longrightarrow N_2(g) + 3H_2(g)$
   c. $C_3H_6(g) + Cl_2(g) \longrightarrow C_3H_5Cl(g) + HCl(g)$

2. Pada pembakaran 1 mol metana dihasilkan kalor sebesar 408,6 kJ.mol^{-1}, menurut persamaan reaksi:

   $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) \qquad \Delta H = -408{,}6$ kJ.mol^{-1}

   Jika diketahui energi ikatan O═O = 498,7 kJ.mol^{-1}; C═O = 745 kJ.mol^{-1}; dan H—O = 393 kJ.mol^{-1}, hitunglah energi ikatan rata-rata pada C—H!

Pengayaan

Membuat Kalorimeter Sederhana

Penggunaan kalorimeter sudah kalian pelajari pada materi sebelumnya. Sekarang, coba kalian buat alat kalorimeter sederhana.

Alat:
1. Wadah *styrofoam* bekas mi instan (1 buah)
2. *Styrofoam* lembaran (1 lembar, jangan yang tebal)
3. Sumpit (1 buah)
4. Termometer ruang
5. *Cutter*/gunting

Langkah kerja:
1. Buat tutup wadah *styrofoam* bekas mi instan dengan memotong *styrofoam* lembaran. Usahakan ukurannya pas, tidak terdapat celah.

2. Lubangi tutup tersebut sebanyak dua buah untuk menempatkan termometer dan sumpit. Usahakan lubangnya pas, tidak longgar.
3. Tutup wadah *styrofoam* bekas mi instan dan letakkan termometer dan sumpit pada lubang penutup.
4. Kalorimeter sederhana siap digunakan.



Inti Sari

Termokimia adalah bagian ilmu kimia yang mempelajari kalor yang menyertai perubahan kimia dan fisika. Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk energi yang lain (hukum kekekalan energi). Energi total suatu zat merupakan jumlah dari seluruh energi yang dimiliki oleh suatu zat, yaitu energi potensial dan energi gerak.

Kalor dapat diukur dengan menggunakan kalorimeter. Kalorimeter adalah suatu alat dengan sistem terisolasi, sehingga tidak ada pertukaran energi, baik dari sistem ke lingkungan ataupun sebaliknya.

Perpindahan kalor pada reaksi kimia melibatkan sistem dan lingkungan. Jika sistem menyerap kalor dari lingkungan maka reaksi tersebut merupakan reaksi endotermik dengan perubahan entalpi positif. Sebaliknya, jika sistem melepaskan kalor ke lingkungan maka reaksinya merupakan reaksi eksotermik dengan perubahan entalpi negatif.

Jenis-jenis perubahan entalpi standar adalah perubahan entalpi pembentukan standar (ΔH_f^o), perubahan entalpi penguraian standar (ΔH_d^o), perubahan entalpi pembakaran standar (ΔH_c^o), dan perubahan entalpi pelarutan standar (ΔH_s^o). Adapun penentuan harga ΔH dapat menggunakan data percobaan kalorimetri, data ΔH_f^o, perhitungan hukum Hess, dan data energi ikatan.

Penggunaan ilmu termokimia dalam kehidupan sehari-hari di antaranya untuk menentukan jumlah kalori pada makanan dengan menggunakan kalorimetri dan pengolahan sampah dengan mengubah energi sampah menjadi energi listrik sesuai dengan hukum kekekalan energi.



Ayo Refleksi

Setelah mempelajari materi Termokimia, silakan kalian merefleksi diri. Berilah ceklis (√) pada kolom Ya/Tidak untuk pernyataan di bawah ini.

No.	Pernyataan	Tanggapan	
		Ya	Tidak
1.	Apakah kalian mampu menjelaskan perubahan energi yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari?		
2.	Apakah kalian mampu menjelaskan reaksi eksotermik dan endotermik beserta contohnya dalam kehidupan sehari-hari?		
3.	Apakah kalian mampu menjelaskan perbedaan tiap-tiap perubahan entalpi?		
4.	Apakah kalian dapat mengerjakan operasi matematika dalam menentukan harga perubahan entalpi (ΔH) dengan menggunakan data percobaan kalorimetri, data ΔH_f^o, perhitungan hukum Hess, dan data energi ikatan?		

Menurut kalian, materi manakah yang sulit untuk dipahami dalam bab Termokimia? Jelaskan alasannya!

Ayo Cek Pemahaman

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Seorang pelajar melakukan percobaan di laboratorium mengenai reaksi eksotermik dan endotermik. Data percobaan yang ia peroleh sebagai berikut.

Percobaan	Reaktan	Suhu awal (°C)	Suhu akhir (°C)
1	Mg + HCl	25	32
2	$NH_4Cl + Ba(OH)_2$	27	20
3	$HCl + CaCO_3$	27	35
4	Asam sitrat + H_2O	26	18
5	H_2SO_4 + NaOH	27	22

Berdasarkan data hasil percobaan, reaksi yang berlangsung secara eksotermik adalah percobaan nomor ....

a. 1 dan 3
b. 2 dan 5
c. 2 dan 4
d. 3 dan 5
e. 1 dan 4

2. Persamaan termokimia di bawah ini yang merupakan reaksi penguraian standar adalah ....

a. $LiOH(aq) \longrightarrow Li^+(aq) + OH^-(aq)$ $\quad \Delta H = +x$ kJ
b. $CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$ $\quad \Delta H = +a$ kJ
c. $Ca(s) + C(s) + \frac{3}{2} O_2(g) \longrightarrow CaCO_3(s)$ $\quad \Delta H = -y$ kJ
d. $NaNO_3(s) \longrightarrow Na(s) + .\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2} O_2(g)$ $\quad \Delta H = -z$ kJ
e. $NaNO_3(aq) \longrightarrow Na^+(aq) + NO_3^-(aq)$ $\quad \Delta H = +b$ kJ

3. Gas asetilena yang dibakar sempurna pada keadaan standar akan menghasilkan kalor sebesar 1.256 kJ. Jika ΔH_f^o CO_2 = –393,5 kJ.mol^{-1} dan ΔH_f^o H_2O = –242 kJ.mol^{-1} maka harga ΔH_f^o untuk gas asetilena pada reaksi:

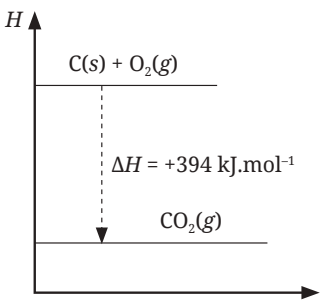
$C_2H_2(g) + \frac{5}{2} O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + H_2O(g)$ $\quad \Delta H = -1.256$ kJ.mol^{-1}

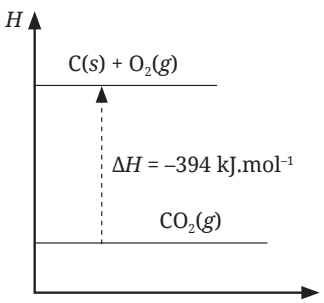
adalah ....

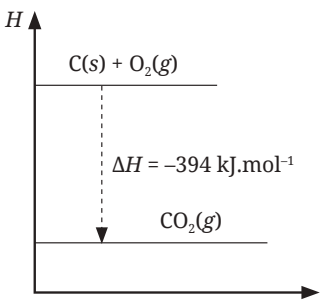
a. +227 kJ.mol^{-1}
b. +137 kJ.mol^{-1}
c. +74 kJ.mol^{-1}
d. –137 kJ.mol^{-1}
e. –227 kJ.mol^{-1}

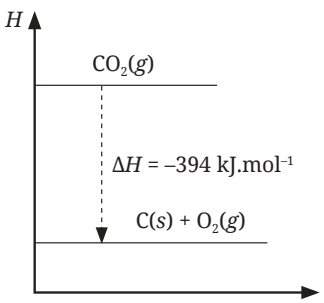
4. Berdasarkan data pada Tabel 4.3 tentang harga energi ikatan, harga perubahan entalpi pada reaksi:
$CH_2{=}{=}CH_2 + H_2O \longrightarrow CH_3{-}CH_2{-}OH$
adalah ....
a. –112 kJ.mol^{-1}
b. –99 kJ.mol^{-1}
c. –32 kJ.mol^{-1}
d. +99 kJ.mol^{-1}
e. +112 kJ.mol^{-1}

5. Perubahan entalpi pembentukan CO_2 ditunjukkan pada reaksi:
$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -394$ kJ.mol^{-1}
Diagram tingkat energi yang sesuai adalah ....

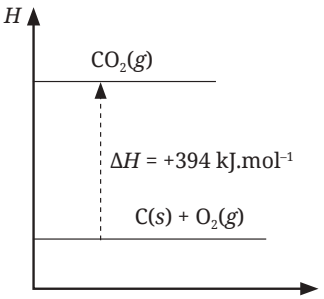
a.


c.


b.


d.


e.



Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan tepat!

1. Freon merupakan senyawa karbon yang digunakan untuk sistem pendingin AC. Senyawa freon yang sering digunakan adalah freon-11 ($CFCl_3$) dan freon-12 (CF_2Cl_2). Kelemahan dari penggunaan freon ini adalah dapat merusak lapisan ozon di atmosfer. Freon mengabsorpsi radiasi energi menghasilkan Cl. Selanjutnya Cl yang dilepaskan akan bereaksi dengan ozon.

   $O_3 + Cl \longrightarrow O_2 + ClO$ $\quad \Delta H = -126$ kJ
   $ClO + O \longrightarrow Cl + O_2$ $\quad \Delta H = -268$ kJ
   $O_3 + O \longrightarrow 2O_2$

   Berdasarkan data reaksi di atas, hitunglah perubahan entalpi yang terjadi pada reaksi perubahan ozon menjadi oksigen!

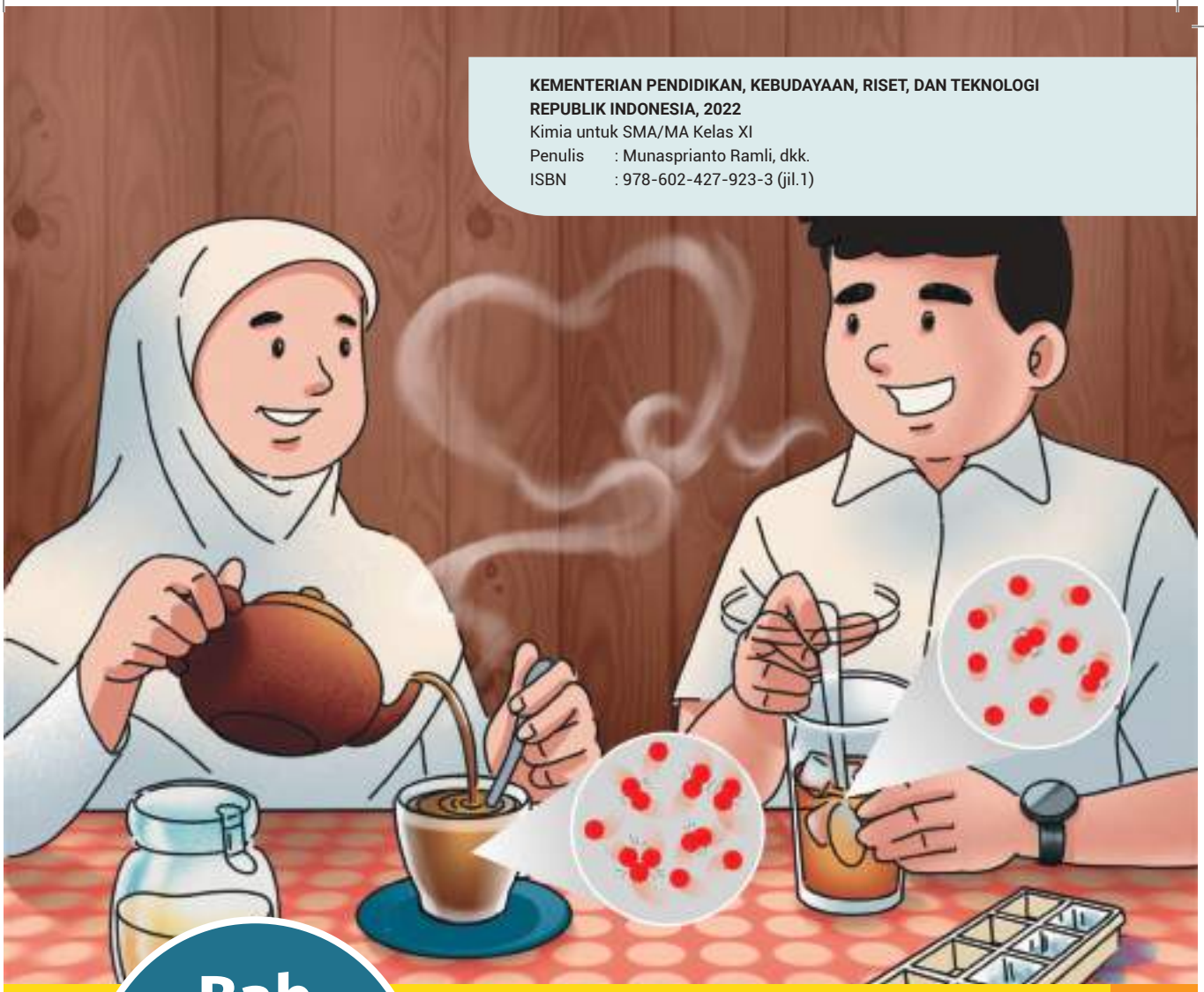
2. Setiap bahan bakar yang digunakan akan menghasilkan jumlah energi yang berbeda setiap gramnya. Tabel berikut menyajikan data entalpi pembakaran untuk lima jenis bahan bakar.

Bahan bakar	ΔH (kJ.mol^{-1})	M_r
Hidrogen	–287	2
Metana	–803	16
Propana	–2.201	44
Isobutana	–2.868	58
Neopentana	–3.515	72

   Bahan bakar mana yang menghasilkan jumlah energi paling besar untuk setiap 1 gram bahan bakar yang digunakan?

3. Ketika seseorang mengalami patah tangan atau kaki, kemudian diberi gips, saat proses pengerasan gips akan terasa panas. Hal ini terjadi karena ketika bahan gips, $CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O$, dicampur dengan air, akan terbentuk $CaSO_4.2H_2O$ (gips) disertai dengan pelepasan panas (reaksi eksotermik). Jika $\Delta H_f^o\ CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O = -1.573\ kJ.mol^{-1}$, $\Delta H_f^o\ CaSO_4.2H_2O = -2.020\ kJ.mol^{-1}$, dan $\Delta H_f^o\ H_2O = -242\ kJ.mol^{-1}$, hitunglah perubahan entalpi untuk reaksi:
$CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O + \frac{3}{2}H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O$

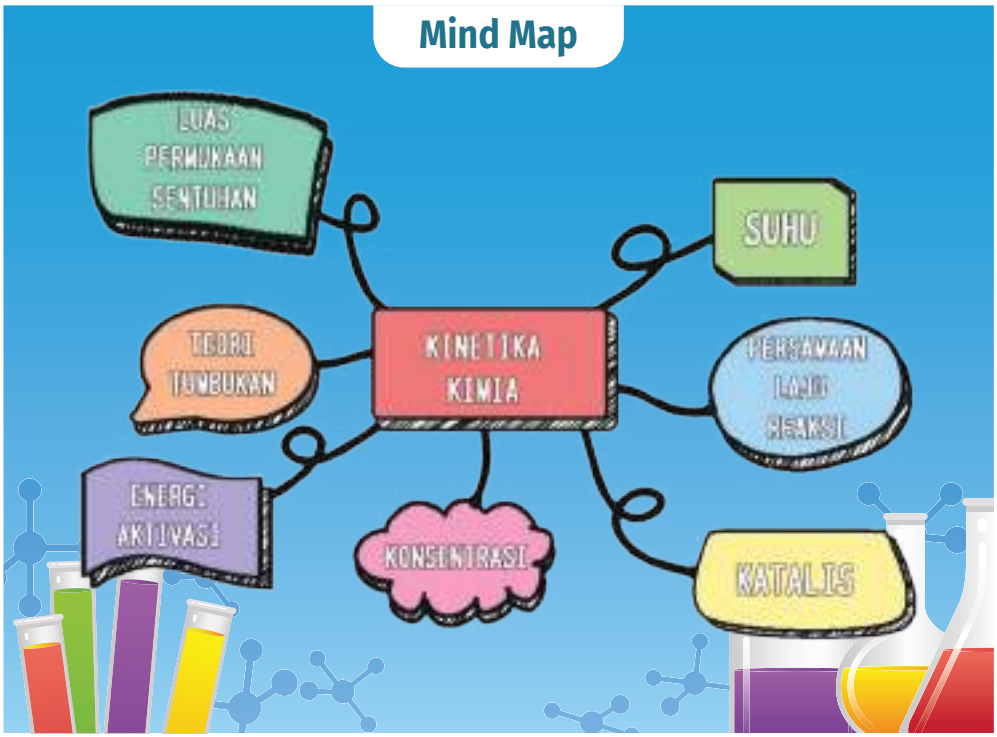
KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022
Kimia untuk SMA/MA Kelas XI
Penulis : Munasprianto Ramli, dkk.
ISBN : 978-602-427-923-3 (jil.1)



Bab VI
Kinetika Kimia

Setelah mempelajari materi ini, kalian dapat menuliskan ungkapan laju reaksi, menjelaskan penyebab terjadinya reaksi yang dihubungkan dengan teori tumbukan, melakukan percobaan sederhana mengenai faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi, menyimpulkan faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi, menentukan harga orde reaksi, menentukan persamaan laju reaksi, serta mampu memahami penerapan laju reaksi dalam kehidupan sehari-hari.

Mind Map



Komik Kimia





Gambar 6.1 Perkaratan besi dan pembakaran kayu

Sumber: pixabay.com/Istvan Asztalos, 2014

Perhatikan kedua gambar di atas. Menurut kalian, manakah reaksi yang berlangsung cepat dan mana yang lambat? Ya, betul sekali. Reaksi perkaratan merupakan reaksi kimia yang berlangsung lambat, sedangkan pembakaran kayu berlangsung cepat.

Sekarang, coba amati proses kita bernapas. Kita bernapas menghirup udara yang mengandung oksigen, lalu membuang napas mengeluarkan karbon dioksida. Berapa lama waktu yang kita butuhkan untuk bernapas? Sangat cepat, bukan? Tuhan sangat luar biasa mendesain tubuh kita sedemikian rupa sehingga tubuh mampu melakukan proses reaksi kimia dalam waktu yang sangat cepat.

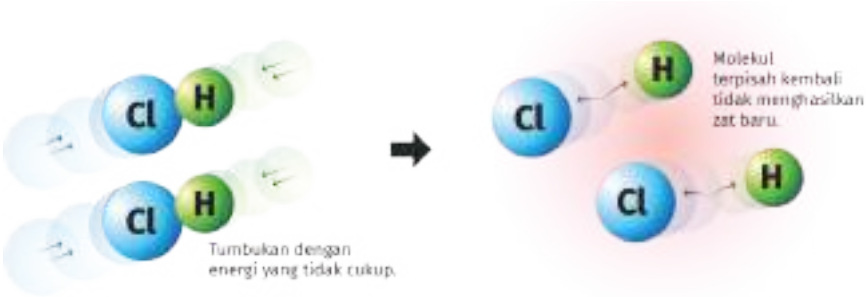
Semua yang ada di muka bumi adalah hal-hal yang bisa kita pelajari sebagai makhluk yang berakal. Melihat beberapa fenomena tersebut, kita dapat mempelajari bagaimana reaksi kimia berlangsung. Apa saja yang menyebabkan reaksi bisa berlangsung cepat dan lambat?

Bagaimana manusia dapat memanfaatkan cepat atau lambatnya reaksi kimia dalam kehidupan sehari-hari? Silakan, pertanyaan apa lagi yang ingin kalian ajukan mengenai cepat atau lambatnya reaksi kimia?

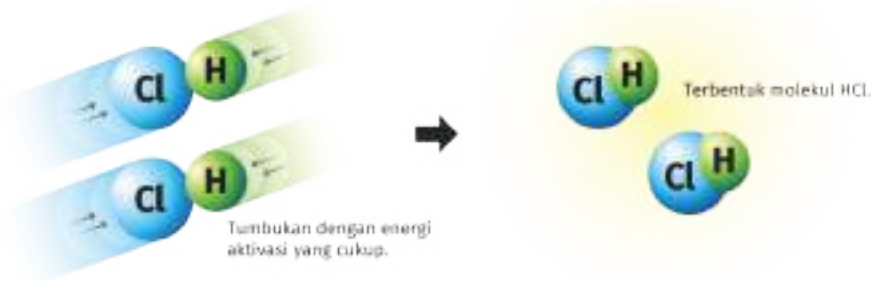
A. Teori Tumbukan

Kinetika kimia adalah bagian dari ilmu kimia yang mempelajari tentang laju reaksi kimia. Apa yang menyebabkan reaksi kimia ada yang berlangsung cepat dan lambat? Reaksi kimia dapat berlangsung karena adanya tumbukan efektif antara partikel-partikel zat yang bereaksi. Semakin banyak tumbukan terjadi, semakin cepat kemungkinan terjadinya reaksi dan semakin kecil energi kinetik minimum yang dibutuhkan untuk bereaksi.

Perhatikan ilustrasi pembentukan molekul senyawa HCl dari molekul unsur pembentuknya, yaitu molekul gas H_2 dan Cl_2.

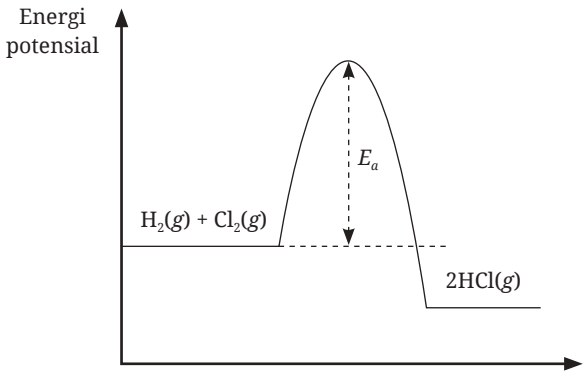


Gambar 6.2 Tumbukan molekul gas hidrogen dan gas klorin yang tidak efektif sehingga tidak menghasilkan reaksi.



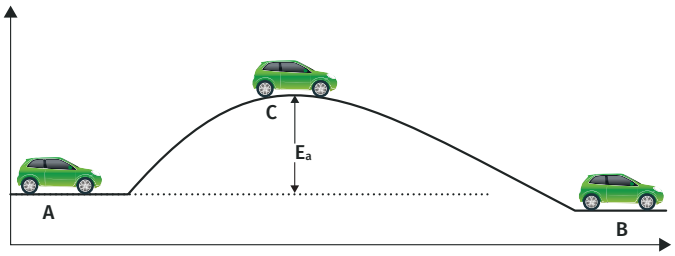
Gambar 6.3 Tumbukan molekul gas hidrogen dan gas klorin yang efektif sehingga menghasilkan reaksi dan membentuk molekul baru.

Energi aktivasi (E_a) merupakan energi minimum yang dibutuhkan supaya reaksi dapat berlangsung sehingga terbentuk molekul baru.
Contoh: $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$



Gambar 6.4 Grafik energi aktivasi

Reaksi pembentukan HCl dari gas H_2 dan Cl_2 tidak akan terjadi (berlangsung) jika tidak mencapai harga energi aktivasi reaksinya.
Perhatikan ilustrasi berikut.



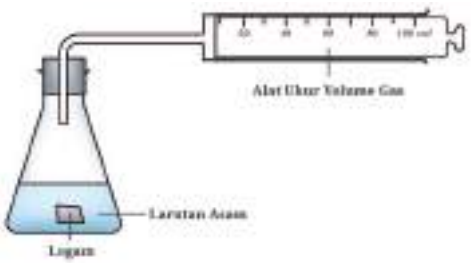
Gambar 6.5 Analogi energi aktivasi

Gambar di atas merupakan analogi bagaimana sebuah mobil yang mogok harus melewati jalan berbukit. Untuk menggerakkan mobil yang mogok dari posisi A ke B maka kita harus mendorongnya hingga ke posisi C terlebih dahulu. Ketika sampai di posisi C, kita tidak perlu mendorongnya lagi, mobil akan bergerak sendiri menuruni bukit menuju posisi B. Posisi C itulah yang diibaratkan dengan energi aktivasi.

B. Laju Reaksi

Ketika belajar ilmu fisika, kalian tentu tidak asing lagi dengan istilah laju atau kecepatan. Dalam ilmu fisika, laju merupakan perubahan jarak yang ditempuh tiap satuan waktu. Adapun dalam ilmu kimia ada istilah yang disebut dengan laju reaksi.

Laju reaksi dapat ditentukan melalui perubahan volume gas, pH, dan konsentrasi larutan. Salah satu contoh penentuan laju reaksi melalui percobaan adalah sebagai berikut.



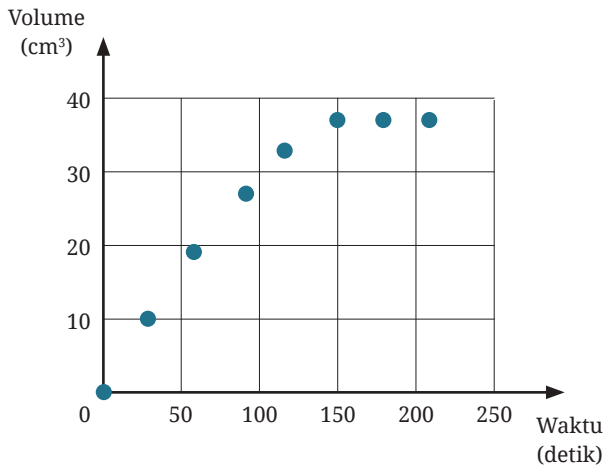
Gambar 6.6 Percobaan penentuan laju reaksi

Sepotong logam seng (Zn) direaksikan ke dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) menghasilkan gas hidrogen (H_2). Jumlah gas hidrogen yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengetahui laju reaksi yang terjadi. Data hasil percobaan tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 6.1 Penambahan volume gas H_2 hasil reaksi

Waktu (detik)	Volume gas H_2 (cm^3)
0	0
30	10
60	19
90	27
120	33
150	37
180	37
210	37

Tabel tersebut dapat kita ubah menjadi grafik sebagai berikut.



Gambar 6.7 Grafik penambahan volume gas H_2 hasil reaksi

Berdasarkan data tersebut, kita bisa mengetahui beberapa kesimpulan berikut.

1. Pada 30 detik pertama, dihasilkan gas hidrogen sebanyak 10 ml, maka laju reaksi pada 30 detik pertama adalah 10 ml gas hidrogen tiap 30 detik.

2. Mulai detik ke-150, volume gas hidrogen yang dihasilkan tidak berubah, yaitu 37 ml, artinya pada waktu tersebut reaksi sudah selesai.
3. Laju reaksi rata-rata dapat ditentukan dari volume total gas H_2 yang dihasilkan dibagi waktu total yang digunakan untuk habis bereaksi.

   Laju reaksi rata-rata = $\frac{37 \text{ ml}}{210 \text{ detik}}$ = 0,176 ml gas hidrogen tiap detik.

Selain melalui perubahan volume gas, laju reaksi dapat ditentukan dari perubahan konsentrasi suatu zat tiap satuan waktu.

$$r = \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

Keterangan:
r = laju reaksi (mol.l^{-1}.detik^{-1})
$\Delta[A]$ = perubahan konsentrasi zat (mol.l^{-1})
Δt = perubahan waktu (detik)

Berikut merupakan contoh penentuan laju reaksi dari suatu zat melalui perubahan konsentrasi.

Di dalam ruangan tertutup dengan volume 10 liter direaksikan 1 mol gas N_2 dan 1 mol gas H_2 menghasilkan gas amonia menurut reaksi berikut.

$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$

Setelah reaksi berlangsung selama 20 detik, tersisa gas N_2 sebanyak 0,8 mol. Maka, laju reaksi tiap-tiap zat ditentukan sebagai berikut.

		$N_2(g)$	+ $3H_2(g)$	$\longrightarrow$ $2NH_3(g)$
Mula-mula	:	1 mol	1 mol	
Bereaksi	:	0,2 mol	0,6 mol	0,4 mol
Setelah 20 detik	:	0,8 mol	0,4 mol	0,4 mol

Laju reaksi terhadap gas N_2:

$$r_{N_2} = \frac{\Delta[N_2]}{\Delta t} = \frac{\frac{0{,}2 \text{ mol}}{10 \text{ l}}}{20 \text{ detik}} = 0{,}001 \text{ mol.l}^{-1}\text{.detik}^{-1}$$

Laju reaksi terhadap gas H_2:

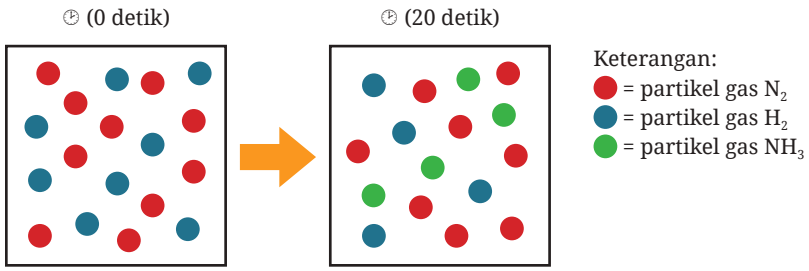
$$r_{H_2} = \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = \frac{\frac{0{,}6 \text{ mol}}{10 \text{ l}}}{20 \text{ detik}} = 0{,}003 \text{ mol.l}^{-1}\text{.detik}^{-1}$$

Laju reaksi terhadap gas NH_3:

$$r_{NH_3} = \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t} = \frac{\frac{0{,}4 \text{ mol}}{10 \text{ l}}}{20 \text{ detik}} = 0{,}002 \text{ mol.l}^{-1}\text{.detik}^{-1}$$

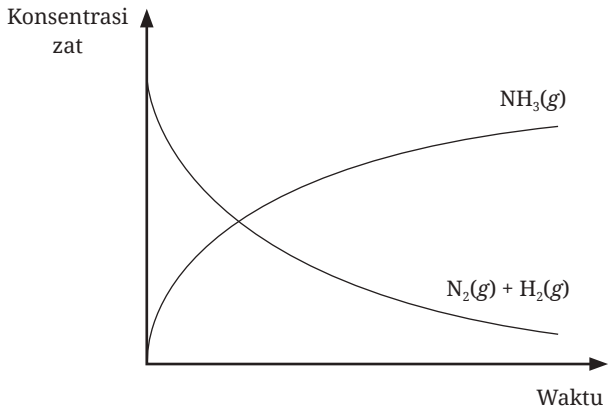
Dari data di atas, kalian perhatikan bahwa laju reaksi untuk reaktan merupakan berkurangnya konsentrasi tiap satuan waktu, sedangkan laju reaksi untuk produk merupakan bertambahnya konsentrasi tiap satuan waktu.

Perhatikan ilustrasi berikut.
Untuk reaksi: $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$



Gambar 6.8 Ilustrasi jumlah partikel zat sebelum dan sesudah reaksi

Perhatikan jumlah setiap partikel zat dari detik ke-0 hingga ke-20 bereaksi. Jumlah partikel reaktan menjadi berkurang setelah reaksi berlangsung selama 20 detik, sedangkan jumlah produk bertambah. Jika dibuat dalam bentuk grafik, laju reaksi pada reaksi di atas adalah sebagai berikut.



Gambar 6.9 Grafik konsentrasi zat terhadap waktu

Berdasarkan grafik pada Gambar 6.9, kita dapat melihat bahwa konsentrasi reaktan berkurang, sedangkan konsentrasi produk bertambah tiap satuan waktu. Pernyataan tersebut dapat dituliskan secara ringkas sebagai berikut.

$$r_{\text{reaktan}} = -\frac{\Delta[\text{reaktan}]}{\Delta t} \quad \text{atau} \quad r_{\text{produk}} = +\frac{\Delta[\text{produk}]}{\Delta t}$$

Keterangan:
r = laju reaksi (M.detik^{-1})
Δ[reaktan] = perubahan konsentrasi reaktan (M)
Δ[produk] = perubahan konsentrasi produk (M)
Δt = perubahan waktu (detik)

Tanda negatif pada rumus di atas menunjukkan bahwa konsentrasi reaktan berkurang, sedangkan tanda positif menunjukkan konsentrasi produk bertambah.

Contoh

1. Perhatikan persamaan reaksi berikut.
   $A_2 + 2Z_2 \longrightarrow 2AZ_2$
   Pernyataan yang tepat mengenai laju reaksi dari persamaan reaksi di atas adalah ....
   a. bertambahnya konsentrasi A_2 tiap satuan waktu
   b. bertambahnya konsentrasi Z_2 tiap satuan waktu
   c. berkurangnya konsentrasi AZ_2 tiap satuan waktu
   d. bertambahnya konsentrasi AZ_2 tiap satuan waktu
   e. berkurangnya konsentrasi A_2 dan AZ_2 tiap satuan waktu

   Pembahasan:
   A_2 dan Z_2 adalah reaktan, sedangkan AZ_2 adalah produk. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya bahwa laju reaksi merupakan berkurangnya konsentrasi reaktan tiap satuan waktu atau bertambahnya konsentrasi produk tiap satuan waktu, sehingga laju reaksi untuk reaksi:
   $A_2 + 2Z_2 \longrightarrow 2AZ_2$
   adalah berkurangnya konsentrasi A_2 dan Z_2 tiap satuan waktu atau bertambahnya konsentrasi AZ_2 tiap satuan waktu.
   Jawab: D

2. Penentuan laju reaksi:
$Zn(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + H_2(g)$
dilakukan dengan mengukur konsentrasi H_2 tiap 10 detik, sehingga diperoleh data sebagai berikut.

Waktu (detik)	0	10	20
$[H_2]$ (mol.l^{-1})	0	0,030	0,055

Berdasarkan data di atas, tentukanlah laju reaksi rata-rata pada detik ke-20 pembentukan gas H_2!

Pembahasan:
Laju reaksi rata-rata pembentukan gas H_2 pada detik ke-20 adalah:

$$r_{H_2} = \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = \frac{(0{,}055 - 0)\ \text{mol.l}^{-1}}{(20 - 0)\ \text{detik}} = 2{,}75 \times 10^{-3}\ \text{mol.l}^{-1}.\text{detik}^{-1}$$

3. Pada suhu 25°C laju penguraian N_2O_5 menjadi NO_2 dan O_2 adalah $2{,}4 \times 10^{-6}$ mol.l^{-1}.detik^{-1} pada pengurangan konsentrasi gas N_2O_5. Tentukan laju reaksi pembentukan NO_2 dan O_2 pada suhu yang sama untuk reaksi berikut.
$2N_2O_5(g) \longrightarrow 2NO_2(g) + O_2(g)$

Pembahasan:

$$r_{NO_2} = \frac{2}{2} \times 2{,}4 \times 10^{-6}\ \text{mol.l}^{-1}.\text{detik}^{-1} = 2{,}4 \times 10^{-6}\ \text{mol.l}^{-1}.\text{detik}^{-1}$$

$$r_{O_2} = \frac{1}{2} \times 2{,}4 \times 10^{-6}\ \text{mol.l}^{-1}.\text{detik}^{-1} = 1{,}2 \times 10^{-6}\ \text{mol.l}^{-1}.\text{detik}^{-1}$$

Ayo Berlatih

1. Di dalam suatu bejana tertutup dengan volume 2 liter direaksikan 0,8 mol gas X dan 1,2 mol gas Y menurut reaksi:
$2X(g) + 3Y(g) \longrightarrow X_2Y_3(g)$
Setelah reaksi berlangsung selama 50 detik, gas X yang tersisa adalah 0,72 mol. Tentukanlah:
   a. laju reaksi pembentukan gas X_2Y_3
   b. laju reaksi gas Y

2. Di dalam suatu ruangan tertutup terjadi reaksi berikut.

   $2NO_2(g) \rightarrow 2NO(g) + O_2(g)$

   a. Tuliskan rumus laju reaksi untuk gas NO_2, NO, dan O_2!
   b. Jika laju reaksi pembentukan NO adalah $1{,}6 \times 10^{-4}$ M.detik^{-1}, tentukan laju reaksi untuk penguraian NO_2 dan laju reaksi pembentukan O_2!

3. Laju reaksi $2A(g) + 3B_2(g) \longrightarrow 2AB_3(g)$ ditentukan dengan mengukur perubahan konsentrasi A tiap 10 detik dan diperoleh hasil percobaan sebagai berikut.

Waktu (detik)	0	10	20
[A] (mol.l^{-1})	0,5	0,4	0,325

   Tentukan laju reaksi rata-rata setiap selang waktu!

C. Persamaan Laju Reaksi dan Orde Reaksi

1. Persamaan laju reaksi

Persamaan laju reaksi menghubungkan antara reaksi dan konsentrasi reaktan dengan konstanta.

$$pA + qB \longrightarrow rC + sD$$

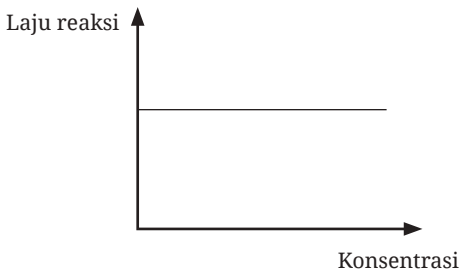
$$r = k\,[A]^x\,[B]^y$$

Keterangan:
r = laju reaksi (M.detik^{-1})
[A] = konsentrasi zat A
[B] = konsentrasi zat B
k = tetapan laju reaksi
x = orde reaksi zat A
y = orde reaksi zat B
$x + y$ = orde reaksi total

2. Orde reaksi

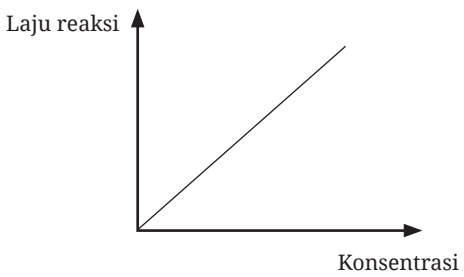
Orde reaksi merupakan variabel yang menunjukkan pengaruh konsentrasi pereaksi terhadap laju reaksi.

a. Orde reaksi nol
Orde reaksi nol menunjukkan bahwa laju reaksi tidak dipengaruhi oleh konsentrasi larutan.



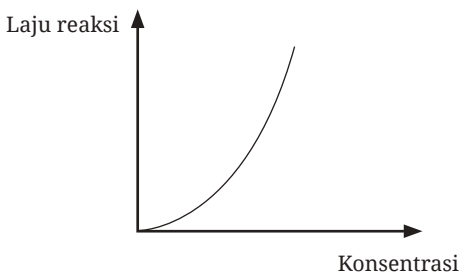
Gambar 6.10 Grafik orde reaksi nol

b. Orde reaksi satu
Orde reaksi satu menunjukkan laju reaksi yang berbanding lurus dengan konsentrasi.



Gambar 6.11 Grafik orde reaksi satu

c. Orde reaksi dua
Orde reaksi dua menunjukkan bahwa laju reaksi merupakan pangkat dua dari konsentrasi pereaksi.



Gambar 6.12 Grafik orde reaksi dua

D. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Laju Reaksi

Pernahkah kalian melarutkan garam ke dalam air dingin dan air panas? Mana yang lebih cepat larut? Ya, betul. Garam yang dilarutkan ke dalam air panas lebih cepat larut dibandingkan air dingin. Kalian bisa pahami bahwa ternyata ada faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi. Berikut ini kita akan mempelajari faktor-faktor tersebut.

1. Konsentrasi

Untuk memahami pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi, coba lakukan percobaan berikut ini.



Aktivitas 6.1

Pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi

Alat:

1. Gelas piala 100 ml (3 buah)
2. Gelas ukur 25 ml (2 buah)
3. Kertas HVS ukuran 7 cm × 7 cm yang telah diberi tanda silang menggunakan spidol sebanyak 1 lembar
4. *Stopwatch*

Bahan:

1. Larutan HCl 2 M
2. Larutan $Na_2S_2O_3$ 0,2 M
3. Larutan $Na_2S_2O_3$ 0,4 M
4. Larutan $Na_2S_2O_3$ 0,6 M

Langkah kerja:

1. Siapkan 3 buah gelas piala 100 ml.
2. Masukkan 10 ml HCl 2 M ke dalam masing-masing gelas piala.
3. Letakkan gelas piala pertama di atas kertas yang sudah diberi tanda silang dan siapkan *stopwatch*.
4. Tambahkan 20 ml larutan $Na_2S_2O_3$ 0,2 M ke dalam gelas piala pertama dan hidupkan *stopwatch*.
5. Amati perubahan yang terjadi dan catat waktunya sampai tanda silang tidak terlihat.




6. Ulangi langkah 3 s.d. 5 untuk penambahan 20 ml larutan $Na_2S_2O_3$ 0,4 M ke dalam gelas piala kedua dan 20 ml larutan $Na_2S_2O_3$ 0,6 M ke gelas piala ketiga.

Hasil pengamatan:

No.	10 ml HCl	20 ml $Na_2S_2O_3$	Waktu (detik)
1.	2 M	0,2 M	
2.	2 M	0,4 M	
3.	2 M	0,6 M	

Pertanyaan:

1. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, tentukanlah variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat!
2. Jelaskan hubungan antara jumlah partikel zat terlarut dengan besar konsentrasi!
3. Bandingkan waktu yang diperlukan ketika kalian mereaksikan larutan HCl 2 M dengan larutan $Na_2S_2O_3$ 0,2 M, 0,4 M, dan 0,6 M!
4. Tuliskan kesimpulan kalian dari hasil percobaan ini!

Setelah melakukan percobaan di atas, diskusikan bagaimana pengaruh konsentrasi pereaksi terhadap laju reaksi. Hubungkan dengan teori tumbukan yang sudah kalian pelajari sebelumnya.

Berdasarkan hasil percobaan dari data perubahan konsentrasi, kita dapat menentukan persamaan laju reaksi dengan menghitung harga orde reaksinya.

Contoh

Di dalam ruang tertutup direaksikan gas NO dan gas Cl_2 menurut reaksi:

$$NO(g) + \frac{1}{2}Cl_2(g) \longrightarrow NOCl(g)$$

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh data sebagai berikut.

No.	[NO] (M)	[Cl_2] (M)	Laju reaksi (M.detik^{-1})
1.	0,20 M	0,05 M	0,6
2.	0,20 M	0,10 M	1,2
3.	0,40 M	0,05 M	2,4

Berdasarkan data tersebut, tentukanlah:

a. orde reaksi untuk gas NO
b. orde reaksi untuk gas Cl_2
c. orde reaksi total
d. persamaan laju reaksi
e. harga tetapan laju reaksi (k)

Pembahasan:

Hubungan antara konsentrasi pereaksi dengan laju reaksi dinyatakan dalam persamaan:

$r = k\,[NO]^x\,[Cl_2]^y$

a. Menentukan orde reaksi untuk gas NO (nilai x)

Untuk menentukan nilai x maka kita gunakan data 1 dan 3. Pada data 1 dan 3, konsentrasi Cl_2 dibuat tetap (sebagai variabel kontrol) untuk mengetahui pengaruh konsentrasi gas NO terhadap laju reaksi.

$$\frac{r_3}{r_1} = \frac{k\,[NO]_3^x\,[Cl_2]_3^y}{k\,[NO]_1^x\,[Cl_2]_1^y}$$

$$\frac{2,4}{0,6} = \frac{(0,4)^x\,(0,05)^y}{(0,2)^x\,(0,05)^y}$$

$$4 = 2^x$$

$$x = 2$$

b. Menentukan orde reaksi untuk gas Cl_2 (nilai y)
Untuk menentukan nilai y maka kita ggunakan data 1 dan 2. Pada data 1 dan 2, konsentrasi NO dibuat tetap (sebagai variabel kontrol) untuk mengetahui pengaruh konsentrasi gas Cl_2 terhadap laju reaksi.

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{k\ [NO]_2^x\ [Cl_2]_2^y}{k\ [NO]_1^x\ [Cl_2]_1^y}$$

$$\frac{1{,}2}{0{,}6} = \frac{(0{,}2)^x\ (0{,}10)^y}{(0{,}2)^x\ (0{,}05)^y}$$

$$2 = 2^y$$

$$y = 1$$

c. Orde reaksi total = $x + y = 2 + 1 = 3$

d. Persamaan laju reaksinya:
$r = k\ [NO]^2\ [Cl_2]$

e. Untuk menentukan nilai k, boleh menggunakan data percobaan 1, 2, atau 3. Kita gunakan data percobaan 1:
$r = k\ [NO]^2\ [Cl_2]$
$0{,}6\ M.detik^{-1} = k\ (0{,}2\ M)^2\ (0{,}05\ M)$
$0{,}6\ M.detik^{-1} = k\ .\ 0{,}04\ M^2\ .\ 0{,}05\ M$
$0{,}6\ M.detik^{-1} = k\ .\ 0{,}002\ M^3$

$$k = \frac{0{,}6\ M.detik^{-1}}{0{,}002\ M^3} = 300\ M^{-2}.detik^{-1}$$

2. Gas CO_2 terbentuk dari reaksi antara gas CO dan gas O_2 menurut reaksi:

$$2CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$$

Setelah dilakukan percobaan, diperoleh data sebagai berikut.
   a. Jika konsentrasi CO dinaikkan dua kali lipat dan konsentrasi O_2 tetap, maka laju reaksi menjadi dua kali lebih besar.
   b. Jika konsentrasi CO dan O_2 masing-masing dinaikkan dua kali lipat, maka laju reaksi menjadi enam belas kali lebih besar.

Tentukan persamaan laju reaksi tersebut!

Pembahasan:

$$2CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$$

$r = k\ [CO]^x\ [O_2]^y$

   a. Konsentrasi CO dinaikkan dua kali dan konsentrasi O_2 tetap, laju reaksi menjadi dua kali lebih besar.

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{k\,[CO]_2^x\,[O_2]_2^y}{k\,[CO]_1^x\,[O_2]_1^y}$$
$$\frac{2}{1} = \frac{2^x \,.\, 1^y}{1^x \,.\, 1^y}$$
$$2 = 2^x$$
$$x = 1$$

b. Konsentrasi CO dan O_2 masing-masing dinaikkan 2 kali, laju reaksi menjadi 16 kali lebih cepat.

$$\frac{r_3}{r_1} = \frac{k\,[CO]_3^x\,[O_2]_3^y}{k\,[CO]_1^x\,[O_2]_1^y}$$
$$\frac{16}{1} = \frac{2^x \,.\, 2^y}{1^x \,.\, 1^y}$$
$$16 = 2^x \,.\, 2^y$$
$$16 = 2 \,.\, 2^y$$
$$2^y = 8$$
$$y = 3$$

Jadi, persamaan laju reaksinya adalah $r = k\,[CO]\,[O_2]^3$.

Agar kalian lebih paham tentang pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi, ayo kerjakan latihan berikut.



Ayo Berlatih

Sekelompok siswa melakukan percobaan dengan mereaksikan larutan natrium tiosulfat dengan larutan asam klorida menurut reaksi:

$Na_2S_2O_3(aq) + 2HCl(aq) \longrightarrow SO_2(g) + S(s) + H_2O(l) + 2NaCl(aq)$

Dari hasil percobaan, diperoleh data sebagai berikut.

No.	$Na_2S_2O_3$ (M)	HCl (M)	Laju reaksi (M.detik^{-1})
1.	0,1	0,03	0,04
2.	0,1	0,12	0,16
3.	0,03	0,03	0,36

Berdasarkan data tersebut, tentukanlah:
a. orde reaksi untuk $Na_2S_2O_3$
b. orde reaksi untuk HCl
c. orde reaksi total
d. persamaan laju reaksi
e. harga tetapan laju reaksi (k)

2. Luas permukaan sentuh zat



Gambar 6.13 Api unggun

Pernahkah kalian membuat api unggun ketika sedang berkemah? Kalian ingat, kayu bakar yang kalian gunakan untuk membuat api unggun terlebih dahulu dipotong-potong. Mengapa demikian? Agar kalian tahu alasannya, coba lakukan kegiatan di bawah ini.

Aktivitas 6.2

Pengaruh luas permukaan sentuh zat terhadap laju reaksi

Alat:
1. Labu erlenmeyer 50 ml (2 buah)
2. Gelas ukur 50 ml (2 buah)

3. Balon karet (2 buah)
4. Neraca digital
5. Kaca arloji
6. Spatula
7. *Stopwatch*

Bahan:

1. Larutan HCl 3 M
2. Butiran $CaCO_3$
3. Serbuk $CaCO_3$

Langkah kerja:



1. Timbang 2 gram butiran $CaCO_3$ lalu masukkan ke dalam balon karet.
2. Ukur 10 ml larutan HCl 3 M dan masukkan ke dalam labu erlenmeyer.
3. Tutup mulut labu erlenmeyer dengan balon yang berisi butiran $CaCO_3$.
4. Siapkan *stopwatch*, tuangkan butiran $CaCO_3$ ke dalam labu erlenmeyer yang berisi larutan HCl.
5. Catat waktu dari mulai butiran $CaCO_3$ dituangkan sampai balon berdiri tegak.
6. Ulangi percobaan dengan menggunakan balon yang berisi 2 gram serbuk $CaCO_3$.

Hasil pengamatan:

Percobaan	2 gram $CaCO_3$	Waktu (detik)
1	Butiran	
2	Serbuk	

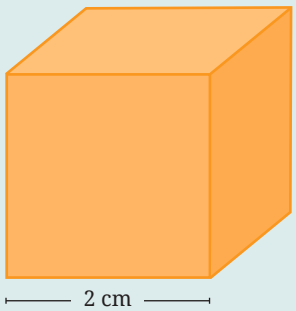
Pertanyaan:

1. Tentukanlah varibel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat dari percobaan ini!
2. Jelaskan hubungan antara bentuk $CaCO_3$ dengan luas permukaan sentuh zat!

3. Manakah laju reaksi yang lebih cepat antara bentuk bongkahan dan serbuk?
4. Tuliskan kesimpulan dari hasil percobaan ini!

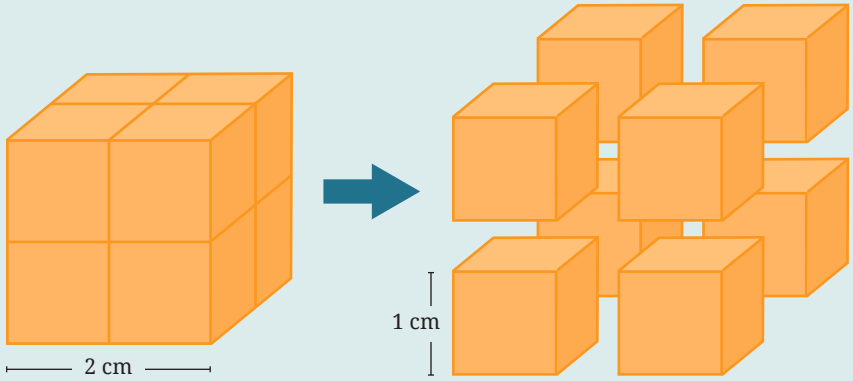
Setelah kalian melakukan percobaan pada Aktivitas 6.2, diskusikan bagaimana pengaruh luas permukaan sentuh zat terhadap laju reaksi. Hubungkan dengan teori tumbukan yang telah dipelajari sebelumnya. Jika kalian mengalami kesulitan, perhatikan penjelasan di bawah ini.

Kubus berikut diibaratkan bongkahan $CaCO_3$.



Jika panjang rusuk kubus adalah 2 cm, luas permukaan kubus tersebut adalah 2 cm × 2 cm × 6 = 24 cm^2.

Apabila bongkahan $CaCO_3$ (kubus) tersebut diperkecil menjadi 8 bagian sama besar, maka:



luas permukaan kubus menjadi = 1 cm × 1 cm × 6 × 8 = 48 cm^2.

Kesimpulannya adalah zat yang memiliki massa sama apabila ukurannya semakin kecil maka luas permukaannya semakin besar.

3. Suhu

Pernahkah kalian merasakan ketika berada di tempat yang bersuhu panas, seperti di pantai, kalian merasa lebih cepat haus dibanding ketika berada di pegunungan yang suhunya lebih dingin? Mengapa demikian?
Agar kalian dapat menjawab pertanyaan tersebut, coba lakukan percobaan berikut.



Aktivitas 6.3

Pengaruh suhu terhadap laju reaksi

Alat:

1. Gelas piala 100 ml (3 buah)
2. Gelas ukur 50 ml (2 buah)
3. Kaki tiga (1 buah)
4. Kassa (1 buah)
5. Pembakar spiritus (1 buah)
6. Termometer (1 buah)
7. Kertas HVS ukuran 7 cm × 7 cm yang telah diberi tanda silang menggunakan spidol sebanyak 1 lembar

Bahan:

1. Larutan HCl 2 M
2. Larutan $Na_2S_2O_3$ 0,2 M

Langkah kerja:

1. Ukur larutan $Na_2S_2O_3$ 0,2 M sebanyak 20 ml menggunakan gelas ukur, masukkan ke dalam gelas piala pertama.
2. Letakkan gelas piala tersebut di atas kertas HVS yang sudah diberi tanda silang.
3. Ukur larutan HCl 2 M sebanyak 10 ml menggunakan gelas ukur,
4. Sebelum mencampurkan larutan HCl, ukur suhu larutan $Na_2S_2O_3$ 0,2 M (suhu ruangan) terlebih dahulu dan catat.
5. Tuangkan larutan HCl ke dalam gelas piala dan hidupkan *stopwatch*.
6. Amati dan catat waktunya sejak penambahan larutan HCl sampai tanda silang tidak terlihat lagi.

7. Sekarang, lakukan percobaan yang berbeda pada gelas piala kedua. Ukur 20 ml larutan $Na_2S_2O_3$ 0,2 M dan masukkan ke dalam gelas piala kedua. Panaskan hingga suhu 40°C lalu letakkan di atas kertas HVS yang sudah diberi tanda silang.
8. Ukur larutan HCl 2 M sebanyak 10 ml menggunakan gelas ukur.
9. Sebelum mencampurkan larutan HCl, ukur suhu larutan $Na_2S_2O_3$ 0,2 M terlebih dahulu dan catat sebagai suhu reaksi.
10. Tuangkan larutan HCl ke dalam gelas piala dan hidupkan *stopwatch*.
11. Amati dan catat waktunya sejak penambahan larutan HCl sampai tanda silang tidak terlihat lagi.
12. Ulangi langkah ke-7 s.d. 11 dengan memanaskan larutan $Na_2S_2O_3$ hingga suhu 60°C.



Hasil pengamatan:

Gelas Piala	Volume HCl 2 M	Volume $Na_2S_2O_3$ 0,2 M	Suhu $Na_2S_2O_3$ 0,2 M	Waktu (detik)
1	10 ml	20 ml		
2	10 ml	20 ml		
3	10 ml	20 ml		

Pertanyaan:

1. Berdasarkan percobaan yang telah kalian lakukan, tentukan variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikatnya!
2. Bandingkan waktu yang diperlukan untuk bereaksi pada setiap suhu percobaan!
3. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan yang kalian dapat!

Setelah kalian melakukan percobaan di atas, diskusikan bagaimana pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Hubungkan dengan teori tumbukan yang telah dipelajari sebelumnya.

Bagaimana penjelasan kalian mengenai pertanyaan awal tentang perbedaan kondisi tubuh kita ketika berada di pantai dan pegunungan dihubungkan dengan pengaruh suhu terhadap laju reaksi?

Laju reaksi bertambah cepat jika suhu dinaikkan. Berdasarkan hasil percobaan, laju reaksi pada umumnya akan naik dua kali lipat setiap kenaikan suhu sebesar 10°C.



Contoh

Suatu reaksi kimia berlangsung pada suhu 25°C. Setiap suhu dinaikkan 10°C, laju reaksi menjadi dua kali lebih cepat. Jika pada suhu 25°C laju reaksinya sebesar 0,12 M.detik^{-1}, berapakah besar laju reaksi pada saat suhu 55°C?

Pembahasan:

T_1 = 25°C; T_2 = 55°C

r_{awal} = 0,12 M.detik^{-1}

Setiap suhu dinaikkan 10°C, laju reaksi menjadi dua kali lebih cepat.

r_{akhir} = ...?

No.	Suhu (°C)	Laju reaksi (M.detik^{-1})	Keterangan
1.	25	0,12	
2.	35	0,24	2 kali percobaan 1
3.	45	0,48	2 kali percobaan 2 atau 4 kali percobaan 1
4.	55	0,9	2 kali percobaan 3 atau 8 kali percobaan 1

Dari data di atas dapat dituliskan kalimat matematikanya sebagai berikut.

$$r_{akhir} = r_{awal} \times 2^{\left(\frac{T_2 - T_1}{10}\right)}$$

$$= 0{,}12 \text{ M.detik}^{-1} \times 2^{\left(\frac{55-25}{10}\right)}$$

$$= 0{,}12 \text{ M.detik}^{-1} \times 2^3$$

$$= 0{,}96 \text{ M.detik}^{-1}$$

Jadi, laju reaksi pada saat suhu 55°C adalah 0,96 M.detik^{-1}.

Agar kalian lebih memahami pengaruh suhu terhadap laju reaksi, silakan kalian berlatih soal-soal berikut ini.

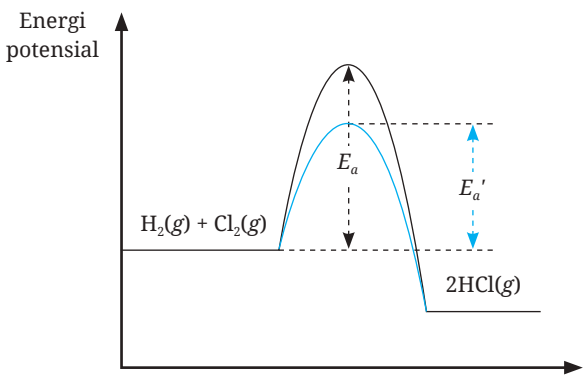
Ayo Berlatih

1. Sekelompok siswa melakukan percobaan mengenai laju reaksi. Dari hasil percobaan diperoleh data bahwa setiap kenaikan suhu 20°C, laju reaksi menjadi 3 kali lebih cepat dari semula. Jika pada suhu 20°C laju reaksi berlangsung selama 15 menit, hitunglah waktu yang dibutuhkan untuk bereaksi pada suhu 80°C!
2. Setiap kenaikan suhu 10°C, percepatan reaksi menjadi 2 kali lebih cepat. Jika pada suhu 30°C laju reaksinya sebesar a, hitunglah laju reaksi pada suhu 100°C!

4. Katalis

Katalis adalah zat yang mampu mempercepat laju reaksi. Katalis ikut bereaksi, tetapi di akhir reaksi, katalis terbentuk kembali seperti semula. Katalis dapat mempercepat laju reaksi dengan cara membuat mekanisme reaksi alternatif dengan harga energi aktivasi yang lebih rendah. Dengan rendahnya energi aktivasi maka tumbukan berlangsung lebih maksimal dan reaksi berlangsung lebih cepat.

Contoh: $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$



Gambar 6.14 Grafik energi aktivasi tanpa katalis (kurva hitam) dan dengan katalis (kurva biru)

Pada Gambar 6.14 tampak bahwa energi aktivasi reaksi tanpa katalis nilainya lebih besar daripada dengan bantuan katalis. Dengan demikian, reaksi akan berlangsung lebih cepat dengan bantuan katalis.

Agar kalian lebih memahami peran katalis dalam reaksi, silakan lakukan percobaan berikut.

Aktivitas 6.4

Pengaruh katalis terhadap laju reaksi

Alat:

1. Labu erlenmeyer 250 ml (1 buah)
2. Gelas ukur 50 ml (1 buah)
3. Spatula
4. *Stopwatch*

Bahan:

1. Larutan H_2O_2 3%
2. Serbuk KI
3. Sabun pencuci piring

Langkah kerja:

1. Ukur volume H_2O_2 3% sebanyak 50 ml dengan menggunakan gelas ukur, lalu masukkan ke dalam labu erlenmeyer.
2. Masukkan 1 sendok teh sabun pencuci piring ke dalam labu erlenmeyer yang berisi H_2O_2 3%.
3. Amati banyak gelembung yang tampak pada labu erlenmeyer.
4. Setelah 2 menit, masukkan serbuk KI sebanyak 1 sendok spatula ke dalam labu erlenmeyer tersebut, amati banyak gas yang terbentuk.

Hasil pengamatan:

No.	Campuran Zat	Gelembung
1.	H_2O_2 + sabun	
2.	H_2O_2 + sabun + KI	

Pertanyaan:

1. Bandingkan banyaknya gelembung pada percobaan 1 dan 2!
2. Apa fungsi dari KI pada reaksi tersebut?
3. Tuliskan kesimpulan dari hasil percobaan ini!

Setelah kalian melakukan percobaan di atas, silakan diskusikan dengan teman-teman, bagaimana pengaruh penambahan KI dihubungkan dengan fungsi katalis pada laju reaksi.



Pengayaan

Papain merupakan enzim proteolitik yang terkandung dalam pepaya. Papain sering digunakan untuk melunakkan daging dan menggumpalkan susu pada pembuatan keju. Aktivitas enzim dapat memberikan pengaruh jika berada pada suhu dan pH yang optimum, yaitu sekitar 50–60°C dan pH netral sekitar 6–8. Tugas kalian adalah mencari informasi mengenai bagaimana enzim papain dapat mengempukkan daging serta sifat kimia dan fisikanya.



Inti Sari

Reaksi kimia terjadi karena adanya tumbukan efektif antarpartikel yang bereaksi. Tumbukan efektif terjadi jika partikel reaktan memiliki energi aktivasi. Energi aktivasi merupakan energi tumbukan minimum yang dibutuhkan agar reaksi dapat berlangsung sehingga terbentuk molekul baru.

Reaksi kimia dapat berlangsung cepat atau lambat. Laju reaksi kimia dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu konsentrasi reaktan, suhu, luas permukaan sentuh zat, dan katalis.

Laju reaksi merupakan perubahan konsentrasi zat tiap satuan waktu. Untuk laju reaksi: $2A + B \longrightarrow A_2B$, persamaan laju reaksinya dinyatakan dengan: $r = k\,[A]^x\,[B]^y$.

Keterangan:
r = laju reaksi
[A] = konsentrasi zat A
[B] = konsentrasi zat B
x = orde reaksi terhadap zat A
y = orde reaksi terhadap zat B
$x + y$ = orde reaksi total



Ayo Refleksi

Setelah mempelajari materi Kinetika Kimia, silakan kalian merefleksi diri. Berilah ceklis (√) pada kolom Ya/Tidak untuk pernyataan di bawah ini.

No.	Pernyataan	Tanggapan	
		Ya	Tidak
1.	Apakah kalian mampu menjelaskan teori tumbukan dengan reaksi kimia?		
2.	Apakah kalian mampu menjelaskan bagaimana pengaruh suhu, konsentrasi, luas permukaan sentuh zat, dan katalis terhadap laju reaksi dihubungkan dengan teori tumbukan?		
3.	Apakah kalian dapat menentukan harga orde reaksi berdasarkan data hasil percobaan berupa perubahan konsentrasi reaktan?		
4.	Apakah kalian mampu menganalisis penerapan konsep laju reaksi dalam kehidupan sehari-hari?		

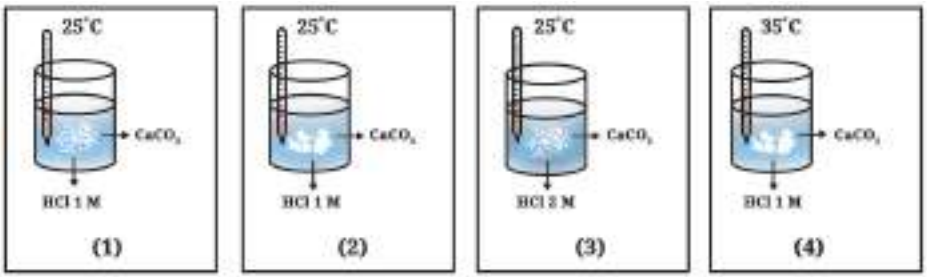
Menurut kalian, materi manakah yang sulit untuk dipahami dalam bab Kinetika Kimia? Jelaskan alasannya!

Ayo Cek Pemahaman

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

Data berikut digunakan untuk menyelesaikan soal nomor 1 dan 2.

Di dalam laboratorium suatu sekolah, beberapa pelajar sedang melakukan percobaan mengenai laju reaksi sebagai berikut.



1. Berdasarkan gambar percobaan di atas, laju reaksi yang dipengaruhi oleh konsentrasi pereaksi adalah percobaan nomor ....
   a. 1 dan 2
   b. 2 dan 4
   c. 1 dan 3
   d. 3 dan 4
   e. 1 dan 4

2. Laju reaksi yang dipengaruhi oleh luas permukaan sentuh zat pereaksi adalah percobaan nomor ....
   a. 1 dan 2
   b. 2 dan 4
   c. 1 dan 3
   d. 3 dan 4
   e. 1 dan 4

3. Berikut adalah salah satu langkah pembuatan asam nitrat dari amonia.
   $4NH_3(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 4NO(g) + 6H_2O(l)$
   Bila uap air terbentuk dengan laju sebesar 0,024 mol.menit^{-1}, maka pada saat yang sama, laju penguraian amonia adalah ....

a. 0,016 mol.menit^{-1}
b. 0,020 mol.menit^{-1}
c. 0,029 mol.menit^{-1}
d. 0,030 mol.menit^{-1}
e. 0,036 mol.menit^{-1}

4. Pada suatu reaksi, penambahan dan pengurangan jumlah zat pereaksi tidak berpengaruh terhadap besarnya laju reaksi. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa orde reaksi terhadap pereaksi tersebut adalah ....
   a. 4
   b. 3
   c. 2
   d. 1
   e. 0

5. Suatu reaksi berlangsung selama 12 menit pada suhu t°C. Apabila suhu reaksi dinaikkan setiap 10°C, reaksi berlangsung menjadi dua kali lebih cepat. Waktu yang diperlukan untuk bereaksi pada suhu (t + 20)°C adalah ....
   a. 4 menit
   b. 3 menit
   c. 2 menit
   d. 1,5 menit
   e. 1 menit

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan tepat!

1. Sebanyak 2 mol gas NO_2 dimasukkan ke dalam bejana dengan volume 5 liter pada tekanan tertentu dan mengalami penguraian menjadi gas NO dan O_2. Setelah 2 jam, ternyata masih tersisa 0,5 mol gas NO_2.
   Tentukanlah:
   a. laju reaksi pembentukan gas NO
   b. laju reaksi pembentukan gas O_2
   c. laju reaksi penguraian gas NO_2

2. Pada reaksi: P + Q $\longrightarrow$ PQ, diperoleh data sebagai berikut.
   a. Jika konsentrasi P dinaikkan dua kali, sementara konsentrasi Q tetap, maka laju reaksi naik empat kali lipat.
   b. Jika konsentrasi P dan Q masing-masing dinaikkan dua kali maka laju reaksi naik menjadi delapan kali lipat.

Tentukanlah:

a. orde reaksi untuk zat P
b. orde reaksi untuk zat Q
c. rumus laju reaksi

3. Dilakukan percobaan penentuan laju reaksi dengan mengukur jumlah mol $MgCl_2$ yang terbentuk melalui reaksi berikut.

$Mg(OH)_2(aq) + 2HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(s) + 2H_2O(l)$

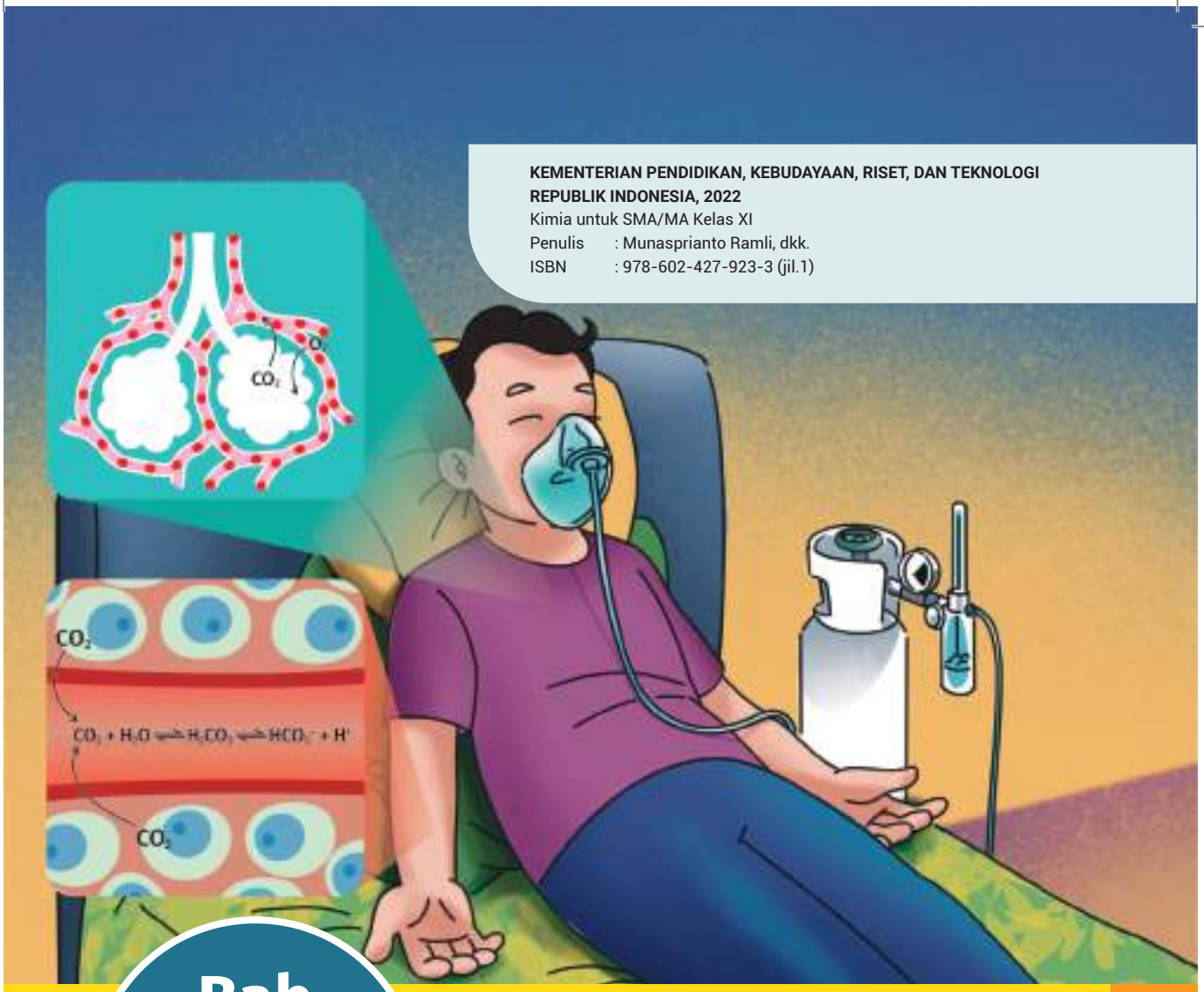
Data hasil percobaannya:

No.	$[Mg(OH)_2]$ (M)	[HCl] (M)	Laju reaksi ($M.detik^{-1}$)
1.	0,030	0,15	$1{,}25 \times 10^{-3}$
2.	0,030	0,30	$5{,}00 \times 10^{-3}$
3.	0,015	0,30	$2{,}50 \times 10^{-3}$

Berdasarkan data di atas, tentukanlah:

a. orde reaksi $Mg(OH)_2$ dan HCl
b. rumus laju reaksi
c. harga tetapan laju reaksi
d. harga laju reaksi jika $Mg(OH)_2$ dan HCl yang bereaksi masing-masing sebesar 0,06 M dan 0,30 M

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022
Kimia untuk SMA/MA Kelas XI
Penulis : Munasprianto Ramli, dkk.
ISBN : 978-602-427-923-3 (jil.1)



Bab VII
Kesetimbangan Kimia

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menjelaskan reaksi kesetimbangan dan keadaan setimbang, menghitung nilai tetapan kesetimbangan, menggunakan tetapan kesetimbangan dalam menghitung konsentrasi pada saat kesetimbangan, menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi kesetimbangan kimia, serta mendeskripsikan aplikasi kesetimbangan kimia dalam kehidupan sehari-hari, khususnya dalam dunia industri.

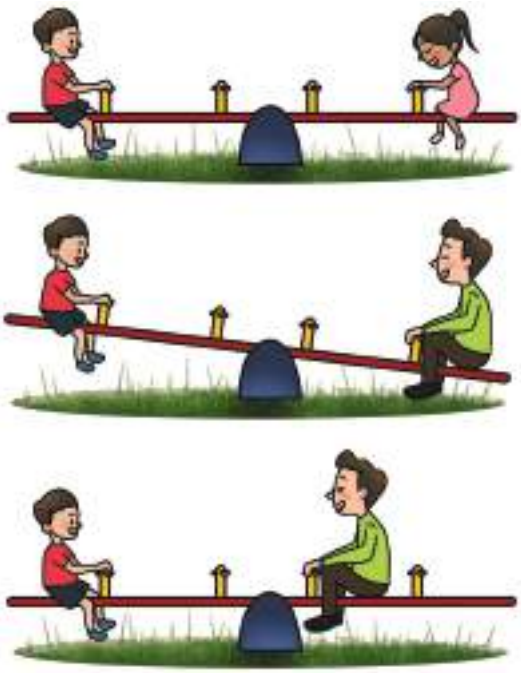
Mind Map



Komik Kimia



Saat kecil, kalian tentu pernah bermain jungkat-jungkit. Coba perhatikan beberapa kedudukan jungkat-jungkit pada gambar di bawah ini.



Gambar 7.1 Beberapa kedudukan jungkat-jungkit

Ketika bermain jungkat-jungkit adakalanya posisi papan panjang dalam keadaan miring dan adakalanya dalam keadaan setimbang. Seperti terlihat pada kondisi pertama, papan panjang dalam keadaan setimbang dikarenakan kedua anak yang bermain jungkat-jungkit mempunyai berat yang sama. Kondisi kedua, terlihat bahwa anak yang di sebelah kanan mempunyai berat yang lebih dibanding dengan anak di sebelah kiri, sehingga papan jungkat-jungkit tidak dalam kondisi setimbang. Pada kondisi ketiga, meskipun berat badan dari kedua anak tidak sama, akan tetapi dengan mengatur posisi duduk, papan jungkat-jungkit berada dalam keadaan setimbang. Artinya, posisi setimbang itu tidak hanya terjadi pada saat berat kedua anak sama, bisa saja beratnya berbeda tetapi dengan mengatur posisi duduknya menyebabkan papan jungkat-jungkit menjadi setimbang.

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) setimbang bisa berarti mantap, stabil, tidak berubah posisinya, atau sama kedudukannya. Bagaimana dengan reaksi kimia? Apakah juga ada reaksi yang setimbang? Apa itu konsep kesetimbangan kimia?

Ada banyak sekali reaksi kimia yang dapat kita temukan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya proses perkaratan. Proses perkaratan terjadi karena besi bereaksi dengan air dan oksigen membentuk besi(III) oksida hidrat yang biasa disebut karat. Besi yang sudah berkarat tidak dapat kembali menjadi besi yang murni lagi, sehingga dikatakan reaksinya adalah reaksi satu arah atau reaksi *irreversible*. Memangnya ada reaksi yang berlangsung dua arah atau *reversible?* Mari lakukan aktivitas berikut ini.



Aktivitas 7.1

Membuktikan reaksi dua arah

Alat dan bahan:

1. Kristal tembaga sulfat pentahidrat ($CuSO_4.5H_2O$)
2. Pembakar spritus
3. Kaki tiga
4. Cawan porselen
5. Akuades

Langkah kerja:

1. Masukkan 1 gram tembaga sulfat pentahidrat ke dalam cawan porselen.
2. Panaskan cawan porselen tersebut. Amati perubahan warna yang terjadi. Setelah kristal tembaga sulfat tersebut berubah menjadi putih, tambahkan akuades setetes demi setetes. Amati apa yang terjadi.

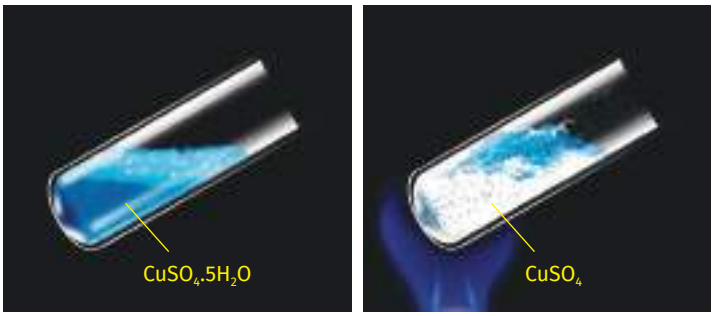
Apa yang bisa kalian simpulkan dari aktivitas ini?

A. Konsep Kesetimbangan Kimia

Dari Aktifitas 7.1 terbukti bahwa reaksi kimia ternyata dapat berlangsung bolak-balik. Tidak hanya berlangsung ke arah pembentukan produk, reaksi dapat juga berlangsung ke arah pembentukan reaktan. Mari perhatikan penjelasan berikut ini.

Pemanasan tembaga sulfat pentahidrat akan menghasilkan tembaga sulfat dan air. Kita bisa menuliskan reaksinya sebagai berikut.

$$CuSO_4.5H_2O(s) \longrightarrow CuSO_4(s) + 5H_2O(l)$$



Gambar 7.2 Pemanasan padatan $CuSO_4.5H_2O$ menghasilkan $CuSO_4$

Sebaliknya, penambahan air ke dalam bubuk tembaga sulfat akan kembali menghasilkan tembaga sulfat pentahidrat.

$$CuSO_4(s) + 5H_2O(l) \longrightarrow CuSO_4.5H_2O(s)$$



Gambar 7.3 Pemberian air pada padatan $CuSO_4$ menghasilkan $CuSO_4.5H_2O$ kembali

Sumber: Kemendikbudristek/Munasprianto Ramli (2022)

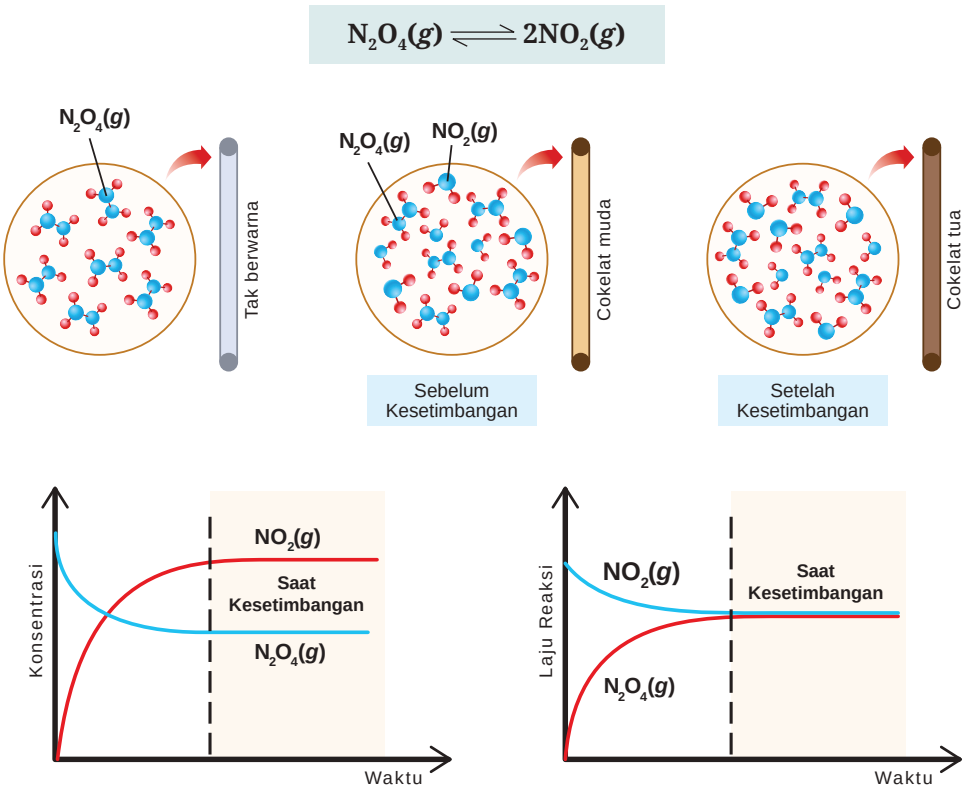
Karena reaksi dapat berlangsung dua arah, baik ke arah produk maupun reaktan, maka orang kimia tidak menggunakan tanda panah yang mengarah ke salah satu arah saja, melainkan menggunakan tanda panah bolak-balik, yaitu atau $\rightleftarrows$ atau $\rightleftharpoons$.

Tanda panah ini menunjukkan reaksi berlangsung bolak-balik atau *reversible*, sehingga reaksi di atas dapat ditulis menjadi:

$$CuSO_4.5H_2O(s) \rightleftharpoons CuSO_4(s) + 5H_2O(l)$$

Pada Bab 6 kalian sudah mempelajari tentang laju reaksi, dan tentu kalian masih mengingatnya. Pada suatu kondisi, ketika laju pembentukan ke arah

produk sama dengan laju pembentukan ke arah reaktan maka reaksi bolak-balik ini dikatakan dalam keadaan setimbang, Mari perhatikan Gambar 7.4 berikut ini.



Gambar 7.4 Konsep kesetimbangan kimia

Jadi, penting untuk kalian pahami bahwa kesetimbangan kimia terjadi ketika laju pembentukan ke arah produk sama dengan laju pembentukan ke arah reaktan. Orang kimia menyebutnya dengan **kesetimbangan dinamis**. Dikatakan kesetimbangan dinamis karena reaksi bisa terjadi dinamis dua arah, baik ke arah pembentukan produk maupun reaktan.

Pada saat kesetimbangan dinamis, reaksi kimia dapat berlangsung ke arah produk dan sebaliknya juga ke arah reaktan. Reaksi ini akan berlangsung berkesinambungan atau terus-menerus dengan laju pembentukan produk sama dengan laju pembentukan reaktan.

Kesetimbangan dinamis ini terbagi menjadi dua, yaitu **kesetimbangan homogen** dan **kesetimbangan heterogen**. Kesetimbangan homogen adalah suatu keadaan kesetimbangan dinamis di mana reaktan dan produk berada dalam fase yang sama, apakah sama-sama gas atau berupa larutan. Misalnya reaksi pembentukan amonia di bawah ini, semua zat yang terlibat dalam reaksi mempunyai fase yang sama, yaitu gas.

$$H_2(g) + 2NH_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

Sementara kesetimbangan heterogen adalah suatu keadaan kesetimbangan di mana terdapat reaktan atau produk berada dalam fase yang tidak sama. Di antara kalian pasti ada yang pernah melihat batu kapur. Batu kapur banyak sekali kandungan kalsium karbonat. Kalsium karbonat ini jika dipanaskan dalam wadah tertutup akan menjadi kalsium oksida dan gas karbon dioksida. Sebaliknya, gas karbon dioksida beraksi dengan kalsium oksida akan membentuk kalsium karbonat, seperti terlihat pada reaksi di bawah ini.

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons 2CaO(s) + CO_2(g)$$

Kalsium karbonat dan kalsium oksida ini berada dalam fase padat, sedangkan karbon dioksida fasenya gas. Karena tidak semua reaktan dan produk berada dalam fase yang sama maka kesetimbangan ini disebut kesetimbangan heterogen.



Ayo Berlatih

Di bawah ini ada beberapa reaksi kesetimbangan. Manakah yang merupakan kesetimbangan homogen dan heterogen?

1. $AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$
2. $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$
3. $Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \rightleftharpoons 2Fe(s) + 3CO_2(g)$
4. $2N_2O_5(g) \rightleftharpoons 4NO_2(g) + O_2(g)$

B. Tetapan Kesetimbangan

Pada awalnya ahli kimia mempelajari banyak reaksi kesetimbangan selama bertahun-tahun dan telah mengusulkan banyak penjelasan untuk berbagai reaksi tersebut. Namun, tidak ada yang bisa menjelaskan hubungan konsentrasi antara zat-zat kimia yang ada dalam sistem kesetimbangan. Sampai akhirnya tahun 1864, dua ilmuwan Norwegia Cato Guldberg dan Peter Waage merangkum hasil eksperimen mereka dan menyimpulkannya dengan hukum aksi massa (Reger, Goode and Ball, 2011).

Guldberg dan Waage menyampaikan bahwa kecepatan reaksi kimia bergantung pada konsentrasi reaktan. Kemudian, mereka menambahkan bahwa pada sistem kesetimbangan kimia, konsentrasi bahan kimia yang terlibat memiliki hubungan konstan satu sama lain. Hal ini dapat dijelaskan oleh konstanta kesetimbangan atau tetapan kesetimbangan (Ferner and Aronson, 2015).

Guldberg dan Waage (1864) menyimpulkan bahwa hasil kali konsentrasi zat-zat hasil reaksi dibagi dengan hasil kali konsentrasi pereaksi pada sistem kesetimbangan, di mana masing-masing konsentrasi itu dipangkatkan dengan koefisien reaksinya adalah tetap.



Guldberg dan Waage

Sumber: bpspubs.onlinelibrary.wiley.com

1. Tetapan kesetimbangan konsentrasi

Apa yang disampaikan oleh Guldberg and Waage dapat dituliskan sebagai berikut.

$$pA + qB \rightleftharpoons rC + sD$$

$$K_c = \frac{[C]^r\ [D]^s}{[A]^p\ [B]^q}$$

Keterangan:
K_c = konstanta/tetapan kesetimbangan (harganya tetap pada suhu tetap)
p, q, r, s = koefisien reaksi
[A] = konsentrasi zat A
[B] = konsentrasi zat B
[C] = konsentrasi zat C
[D] = konsentrasi zat D

Persamaan konstanta atau tetapan kesetimbangan di atas dapat kita substitusikan ke dalam reaksi-reaksi kesetimbangan. Misalnya reaksi kesetimbangan:

$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

Maka pada suhu tetap, tetapan kesetimbangannya adalah:

$$K_c = \frac{[PCl_3]^1\ [Cl_2]^1}{[PCl_5]^1}$$

Mengingat koefisiennya adalah 1 maka angka pangkatnya tidak perlu ditulis-kan, seperti berikut ini.

$$K_c = \frac{[PCl_3]\ [Cl_2]}{[PCl_5]}$$

Bagaimana dengan tetapan kesetimbangan konsentrasi dari reaksi berikut?

$Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \rightleftharpoons 2Fe(s) + 3CO_2(g)$

Tetapan kesetimbangan konsentrasinya **bukanlah**:

$$K_c = \frac{[Fe]^2\ [CO_2]^3}{[Fe_2O_3]\ [CO]^3}$$

melainkan:

$$K_c = \frac{[CO_2]^3}{[CO]^3}$$

Catatan:
Dalam sistem kesetimbangan, zat-zat penyusun kesetimbangan dapat berada dalam fase padat (*s*), gas (*g*), cair (*l*), atau larutan (*aq*). Namun, fase yang diikutkan dalam perhitungan tetapan kesetimbangan konsentrasi hanyalah gas (*g*) dan larutan (*aq*), sementara fase padat (*s*) dan cair (*l*)

tidak diikutkan karena nilai konsentrasinya relatif konstan pada saat kesetimbangan telah tercapai.



Ayo Berlatih

Nyatakan persamaan tetapan kesetimbangan konsentrasi dari reaksi-reaksi berikut!

1. $Sb_2S_3(s) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2Sb(s) + 3H_2(g)$
2. $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$
3. $C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g) \rightleftharpoons 6CO_2(g) + 6H_2O(g)$
4. $CO_2(g) + C(s) \rightleftharpoons CO(g)$

Catatan: untuk reaksi yang belum setara, jangan lupa disetarakan terlebih dahulu.

2. Tetapan kesetimbangan tekanan parsial

Selain dinyatakan dalam bentuk tetapan kesetimbangan konsentrasi, tetapan kesetimbangan dapat juga dinyatakan dalam bentuk tetapan kesetimbangan tekanan parsial gas yang dinyatakan dengan notasi K_p. Tetapan kesetimbangan tekanan parsial ini tidak lain adalah hasil kali tekanan parsial gas-gas pada sisi produk dipangkatkan dengan koefisiennya dibagi dengan hasil kali tekanan parsial gas-gas pada sisi reaktan dipangkatkan dengan koefisiennya, seperti ditunjukkan pada persamaan kesetimbangan berikut ini.

$$a\text{W}(g) + b\text{X}(g) \rightleftharpoons c\text{Y}(g) + d\text{Z}(g)$$

$$K_p = \frac{P_{\text{Y}}{}^{c} \cdot P_{\text{Z}}{}^{d}}{P_{\text{W}}{}^{a} \cdot P_{\text{X}}{}^{b}}$$

Keterangan:
K_p = konstanta/tetapan kesetimbangan tekanan parsial
a, b, c, d = koefisien reaksi
P_{W} = tekanan parsial gas W
P_{Y} = tekanan parsial gas Y

P_X = tekanan parsial gas X
P_Z = tekanan parsial gas Z

Persamaan tetapan kesetimbangan tekanan parsial tersebut dapat kita substitusikan ke dalam reaksi-reaksi kesetimbangan lainnya, misalnya pada reaksi kesetimbangan berikut.

$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

Kita lihat bahwa semua zat yang terlibat dalam sistem kesetimbangan tersebut berada pada fase gas dan semua koefisien reaksinya adalah 1, maka tetapan kesetimbangan tekanan parsialnya adalah:

$$K_p = \frac{P_{PCl_3} \cdot P_{Cl_2}}{P_{PCl_5}}$$

Ayo Berlatih

Nyatakan persamaan tetapan kesetimbangan tekanan parsial dari reaksi berikut!

1. $NOCl_2(g) \rightleftharpoons NO(g) + Cl_2(g)$
2. $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

Catatan: untuk reaksi yang belum setara, jangan lupa disetarakan terlebih dahulu.

Aktivitas 7.2

Membuktikan hubungan K_c dan K_p

Pada abad ke-21 ini, kalian dituntut memiliki kecakapan literasi. Tidak hanya memahami bacaan dan literasi sains, tetapi kalian juga harus memiliki keterampilan numerasi atau literasi matematika. Salah satunya kalian harus bisa melakukan operasi matematika dalam menyelesaikan berbagai permasalahan, termasuk permasalahan kimia, seperti dalam melihat hubungan K_c dan K_p.

Kalian mungkin sudah mengetahui bahwa orang kimia menyatakan hubungan K_c dan K_p dalam bentuk persamaan berikut ini.

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

Secara berpasangan atau berkelompok, buktikanlah persamaan di atas dengan merujuk kepada persamaan gas ideal, yaitu $PV = nRT$.

Petunjuk: konsentrasi = $\frac{n}{V}$

C. Menggunakan Tetapan Kesetimbangan dalam Perhitungan

Setelah memahami tetapan kesetimbangan, kalian juga harus tahu bagaimana menggunakan konsep konstanta kesetimbangan tersebut dalam perhitungan reaksi kesetimbangan. Hal ini tentunya dapat membantu kalian dalam meningkatkan keterampilan numerasi. Berikut adalah beberapa contoh penggunaan konsep konstanta kesetimbangan dalam perhitungan kimia.

Contoh

1. Diketahui reaksi kesetimbangan sebagai berikut.

   $Fe_2O(s) + 3CO(g) \rightleftharpoons 2Fe(s) + 3CO_2(g)$

   Dalam ketel reaksi ukuran 5 liter, direaksikan 5 mol besi oksida dan 15 mol karbon monoksida. Ketika sistem dalam keadaan kesetimbangan diketahui terdapat 5 mol gas karbon dioksida. Hitunglah nilai tetapan kesetimbangannya!

   Penyelesaian:
   Untuk menyelesaikan persoalan ini, tentu ada beberapa langkah yang harus kita lakukan.

   Langkah 1: membaca soal dan mencari tahu apa saja yang diketahui dari soal.
   Dari soal yang diketahui adalah volume (V) = 5 liter, mol besi(III) oksida saat awal = 5 mol, mol karbon monoksida saat awal = 15 mol, serta mol

karbon dioksida saat kesetimbangan = 5 mol. Secara sederhana, bisa kita tuliskan:
V = 5 l, n Fe_2O_3 = 5 mol, n CO = 15 mol, dan n CO_2 saat setimbang = 5 mol

Langkah 2: membuat diagram reaksi.

	$Fe_2O_3(s)$	+	$3CO(g)$	$\rightleftharpoons$	$2Fe(s)$	+	$3CO_2(g)$
Awal	5 mol		15 mol				
Reaksi	–1,67 mol		–5 mol		+3,33 mol		+5 mol
Setimbang	3,33 mol		10 mol		3,33 mol		5 mol

Dari manakah didapat mol karbon monoksida saat kesetimbangan 10 mol, besi(III) oksida 3,33 mol, dan besi 3,33 mol?
Di soal sebutkan bahwa pada saat kesetimbangan terdapat 5 mol karbon dioksida. Berdasarkan koefisien reaksinya, kita tahu bahwa dengan adanya 5 mol karbon dioksida berarti karbon monoksida yang bereaksi adalah 5 mol juga (karena koefisien keduanya sama). Pada saat kesetimbangan, mol karbon monoksida yang bersisa adalah (15 – 5) mol = 10 mol. Adapun mol besi(III) oksida yang bereaksi diperoleh dari perbandingan koefisien besi dan karbon dioksida, yaitu $\frac{1}{3}$ × 5 mol = 1,67 mol, sehingga besi(III) oksida yang bersisa saat kesetimbangan adalah (5 – 1,67) mol = 3,33 mol. Untuk mol besi yang terbentuk juga ditentukan dari perbandingan koefisien besi dan karbon dioksida ($\frac{2}{3}$ × 5 mol = 3,33 mol).

Langkah 3: menghitung nilai K_c
Kita ingat bahwa nilai K_c hanya dilihat dari zat yang fasenya gas dan larutan, sehingga persamaan K_c dari reaksi di atas adalah:

$$K_c = \frac{[CO_2]^3}{[CO]^3}$$

Ingat, konsentrasi yang digunakan adalah konsentrasi saat kesetimbangan.

$$[CO] = \frac{n}{V} = \frac{10 \text{ mol}}{5 \text{ l}} = 2 \text{ mol.l}^{-1}$$

$$[CO_2] = \frac{n}{V} = \frac{5 \text{ mol}}{5 \text{ l}} = 1 \text{ mol.l}^{-1}$$

sehingga:

$$K_c = \frac{[CO_2]^3}{[CO]^3} = \frac{(1 \text{ mol.l}^{-1})^3}{(2 \text{ mol.l}^{-1})^3} = \frac{1}{8} = 0{,}125$$

2. Diketahui reaksi kesetimbangan sebagai berikut.

$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

Ke dalam ketel reaksi 5 liter, dimasukkan 5 mol PCl_5. Pada saat kesetimbangan terdapat 2 mol PCl_5 dengan tekanan total pada saat kesetimbangan adalah 3 atm. Hitunglah nilai K_p dari reaksi tersebut!

Penyelesaian:

Langkah1: menentukan hal yang diketahui dari soal.

Dari soal diketahui bahwa tekanan total (P_{total}) = 3 atm, mol awal PCl_5 = 3 mol, dan mol PCl_5 saat kesetimbangan = 2 mol.

Langkah 2: membuat diagram reaksi dengan melihat data awal reaksi dan kondisi saat kesetimbangan.

	$PCl_5(g)$	$\rightleftharpoons$	$PCl_3(g)$	+	$Cl_2(g)$
Awal	5 mol				
Reaksi	–3 mol		3 mol		3 mol
Setimbang	2 mol		3 mol		3 mol

Langkah 3: menghitung tekanan parsial masing-masing zat saat kesetimbangan.

$$\text{Tekanan parsial } (P) = \frac{\text{mol zat}}{\text{mol total}} \times \text{tekanan total}$$

sehingga didapatkan:

$$P_{PCl_5} = \frac{2 \text{ mol}}{8 \text{ mol}} \times 3 \text{ atm} = 0{,}75 \text{ atm}$$

$$P_{PCl_3} = \frac{3 \text{ mol}}{8 \text{ mol}} \times 3 \text{ atm} = 1{,}125 \text{ atm}$$

$$P_{PCl_2} = \frac{3 \text{ mol}}{8 \text{ mol}} \times 3 \text{ atm} = 1{,}125 \text{ atm}$$

Langkah 4: menghitung tetapan kesetimbangan tekanan parsial.

$$K_p = \frac{P_{PCl_2} \cdot P_{PCl_3}}{P_{PCl_5}} = \frac{1{,}125 \text{ atm} \times 1{,}125 \text{ atm}}{0{,}75 \text{ atm}} = 1{,}6875 \text{ mol}$$

3. Diketahui reaksi kesetimbangan:

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

Pada suhu 298 K, nilai K_p dari reaksi kesetimbangan di atas adalah 150. Hitunglah nilai K_c untuk kesetimbangan tersebut!

Penyelesaian:

Langkah 1: menentukan hal yang diketahui dari soal.

Dari soal yang diketahui hanyalah nilai K_p, yaitu 150 dan suhu (T) 298 K.

Kita sudah bahas di awal bahwa:

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

di mana:

K_p = konstanta kesetimbangan tekanan (diketahui pada soal)

K_c = konstanta kesetimbangan konsentrasi (yang ditanya)

R = konstanta gas ideal = 0,082 l.atm.mol^{-1}.K^{-1}

T = 298 K

Δn = koefisien produk – koefisien reaktan

Langkah 2: menghitung dengan persamaan di atas.

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

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

$$= \frac{150}{(0{,}082\ \text{l.atm.mol}^{-1}.\text{K}^{-1} \times 298\ \text{K})^{-2}}$$

$$= 150 \times (24{,}4\ \text{l.atm.mol}^{-1})^2$$

$$= 89.304\ \text{l}^2.\text{atm}^2.\text{mol}^{-2}$$



Ayo Berlatih

1. Dalam sebuah bejana tertutup yang mempunyai volume 1 liter terdapat 5 mol gas NO_2 yang membentuk kesetimbangan dengan reaksi:

   $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g)$

   Kesetimbangan tercapai setelah terbentuk O_2 sebanyak 2 mol.
   Hitunglah:
   a. konsentrasi masing-masing gas pada saat kesetimbangan
   b. nilai K_c dari reaksi tersebut

2. Sebanyak 5 mol PCl_5 dimasukkan ke dalam wadah 2 liter dan dipanaskan pada suhu 250°C untuk mencapai keadaan setimbang. Keadaan kesetimbangan tercapai pada saat PCl_5 terurai 60%.

Hitunglah tetapan kesetimbangan K_c jika reaksi yang terjadi adalah:

$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

3. Ke dalam sebuah bejana tertutup dimasukkan 3 mol gas A, 3 mol gas B, dan 4 mol gas C dengan reaksi:

   $A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$

   Jika tekanan dalam bejana tersebut adalah 5 atm, hitunglah:
   a. nilai tekanan parsial masing-masing gas pada saat kesetimbangan
   b. nilai tetapan kesetimbangan (K_p)

4. Dalam bejana tertutup yang tekanannya 5 atm, dipanaskan 1 mol gas nitrogen dan 3 mol gas hidrogen. Bejana tersebut dipanaskan pada suhu 400 K dan reaksi kesetimbangan yang terjadi adalah:

   $N_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

   Jika pada saat setimbang terdapat 0,5 gas nitrogen, hitunglah nilai K_p dan K_c dari reaksi tersebut.

D. Pergeseran Kesetimbangan

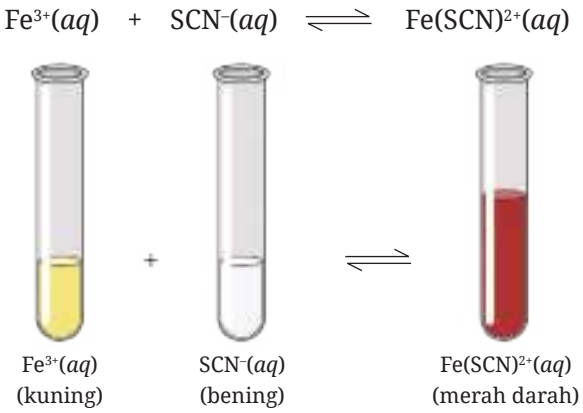
Kalian mungkin sering mendengar nasihat "kita harus menjaga bumi dan lingkungan untuk anak cucu kita". Betul sekali, bumi ini tidak hanya untuk kalian, melainkan kelak anak cucu kalian yang akan menempati. Oleh karena itu, kalian harus menjaga bumi ini dan senantiasa mengembangkan perilaku-perilaku yang ramah terhadap lingkungan. Tidak membuang sampah sembarangan, gemar menanam pohon atau penghijauan, menggunakan produk-produk yang ramah lingkungan, dan masih banyak hal positif lain.

Coba perhatikan keadaan bumi saat ini. Sampah plastik menumpuk, polusi udara cukup tinggi, berkurangnya keanekaragaman hayati, pemanasan global, dan banyak kerusakan alam lainnya. Hal ini tentu berpengaruh terhadap kesetimbangan alam semesta. Kesetimbangan alam menjadi terganggu akibat gangguan dari luar, yaitu ulah manusia yang merusak alam. Begitu juga dengan kesetimbangan kimia. Ahli kimia berkebangsaan Prancis, Le Chatelier, menyatakan apabila sistem kesetimbangan kimia mendapatkan gangguan dari luar maka posisi kesetimbangan bergeser untuk melawan perubahan dan membangun kembali sistem kesetimbangan tersebut.

1. Pengaruh perubahan konsentrasi pada kesetimbangan

Gangguan pertama yang bisa diberikan kepada sistem yang berada dalam kesetimbangan kimia adalah perubahan konsentrasi salah satu zat atau senyawa yang ada dalam sistem kesetimbangan kimia tersebut. Bagaimana jika konsentrasi salah satu zat diperbesar, atau bagaimana jika konsentrasi salah satu produk dikurangi? Mari perhatikan penjelasan berikut.

Kita akan meninjau pengaruh konsentrasi pada reaksi kesetimbangan antara ion besi(III) (Fe^{3+}) dengan ion tiosianat (SCN^-). Ion Fe^{3+} berasal dari besi(III) nitrat ($Fe(NO_3)_3$), sedangkan ion SCN^- berasal dari kalium tiosianat (KSCN). Pada awalnya larutan besi(III) nitrat berwarna kuning, sedangkan larutan kalium tiosianat tidak berwarna/bening. Namun, ketika keduanya direaksikan dan mencapai kesetimbangan, warna larutan berubah menjadi merah darah karena kehadiran dari ion kompleks besi(III) tiosianat ($Fe(SCN)^{2+}$).



Gambar 7.5 Reaksi kesetimbangan antara ion Fe^{3+} dengan ion SCN^-

Bagaimana jika konsentrasi besi(III) nitrat ditambahkan ke dalam sistem kesetimbangan? Ternyata, penambahan konsentrasi besi(III) nitrat menyebabkan warna larutan menjadi lebih pekat. Artinya, kesetimbangan menjadi bergeser ke arah pembentukan ion kompleks besi tiosianat. Jadi, dapat disimpulkan bahwa:

> Penambahan konsentrasi reaktan atau pengurangan konsentrasi produk akan menggeser kesetimbangan ke arah pembentukan produk.

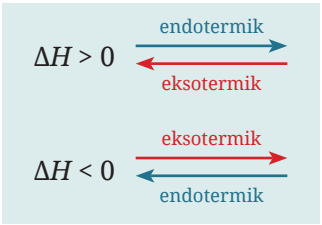
2. Pengaruh perubahan suhu pada kesetimbangan

Pada Bab 5, kalian sudah belajar tentang reaksi endotermik dan eksotermik. Reaksi endotermik adalah reaksi kimia yang memerlukan panas, sedangkan reaksi eksotermik adalah reaksi kimia yang melepaskan panas. Dalam sebuah persamaan reaksi, hal ini mudah diidentifikasi dengan melihat besaran dari nilai entalpi atau ΔH dari reaksi tersebut. Jika nilai ΔH suatu reaksi positif, berarti reaksi tersebut endotermik, sebaliknya jika nilai ΔH negatif, reaksi tersebut eksotermik.

Penambahan dan pengurangan suhu akan memengaruhi kesetimbangan kimia. Bagaimana hal ini bisa terjadi? Mari kita kembali ke penjelasan di awal bab, yaitu reaksi pemanasan tembaga sulfat pentahidrat dengan persamaan reaksi sebagai berikut.

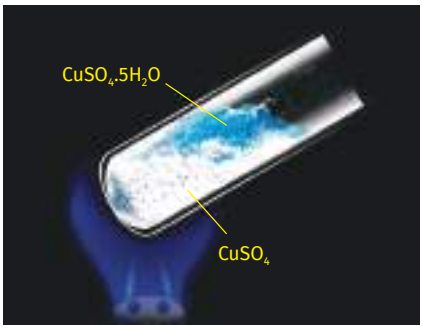
$$CuSO_4.5H_2O(s) \rightleftharpoons CuSO_4(s) + 5H_2O(l) \quad \Delta H = +78{,}2 \text{ kJ}$$

Dari persamaan termokimia di atas terlihat bahwa ΔH bernilai positif. Artinya, reaksi ke arah produk memerlukan panas (endotermik), sedangkan reaksi ke arah sebaliknya, yaitu pembentukan reaktan melepaskan panas (eksotermik).



Bagaimana jika suhu sistem kesetimbangan reaksi tersebut dinaikkan? Apa yang akan terjadi?

Kita ketahui bahwa reaksi di atas bersifat endotermik ke arah pembentukan produk dan eksotermik ke arah pembentukan reaktan. Ketika suhu dinaikkan maka kesetimbangan akan bergeser ke arah reaksi endotermik, dalam hal ini ke arah pembentukan tembaga sulfat dan air. Pergeseran kesetimbangan ini terlihat dari warna serbuk tembaga sulfat yang semakin memutih.



Gambar 7.6 Pemanasan akan meningkatkan pembentukan $CuSO_4$

Penambahan suhu akan menyebabkan kesetimbangan bergeser ke arah reaksi endotermik. Sebaliknya, penurunan suhu akan menyebabkan kesetimbangan bergeser ke arah reaksi eksotermik.

3. Pengaruh perubahan tekanan dan volume pada kesetimbangan

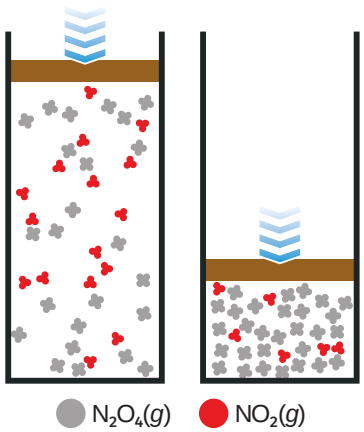
Faktor ketiga yang dapat menggeser kesetimbangan adalah perubahan tekanan. Jika ke dalam kesetimbangan dilakukan aksi yang menyebabkan terjadinya perubahan tekanan (diikuti oleh perubahan volume), maka kesetimbangan akan menyesuaikan terhadap aksi yang diberikan tersebut.

Mari perhatikan sistem kesetimbangan dari dinitrogen tetraoksida dan nitrogen dioksida dalam wadah tertutup berikut ini.

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

Dari koefisien reaksi tersebut terlihat bahwa jumlah molekul gas di sisi reaktan lebih sedikit dibandingkan molekul gas di sisi produk, dengan perbandingan 1 : 2. Bagaimana jika kesetimbangan dinitrogen tetraoksida dan nitrogen dioksida diganggu dengan memperbesar tekanan?

Ketika dalam sistem kesetimbangan tersebut diperbesar tekanannya, sehingga volume ruang mengecil, maka sistem kesetimbangan akan mengurangi jumlah molekul gas. Artinya, reaksi kesetimbangan akan bergeser ke arah pembentukan reaktan yang jumlah molekul gasnya lebih sedikit atau koefisien reaksinya lebih kecil. Terlihat dari gambar berikut, jumlah molekul NO_2 menjadi berkurang apabila tekanan diperbesar.



Gambar 7.7 Pengaruh tekanan pada kesetimbangan N_2O_4 dan NO_2

Jika tekanan diperbesar (berarti memperkecil volume) maka kesetimbangan akan bergeser ke sisi dengan jumlah koefisien yang lebih kecil. Sebaliknya, jika tekanan dikurangi (berarti memperbesar volume) maka kesetimbangan akan bergeser ke sisi dengan jumlah koefisien yang lebih besar.



Ayo Berlatih

Apa yang akan terjadi dengan sistem kesetimbangan berikut ini,

$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g) \qquad \Delta H° = -57{,}20$ kJ

apabila:

a. suhu dinaikkan
b. tekanan diturunkan
c. konsentrasi NO_2 ditambahkan ke dalam sistem kesetimbangan
d. konsentrasi N_2O_4 dikurangi dari sistem kesetimbangan

E. Kesetimbangan Kimia dalam Dunia Industri

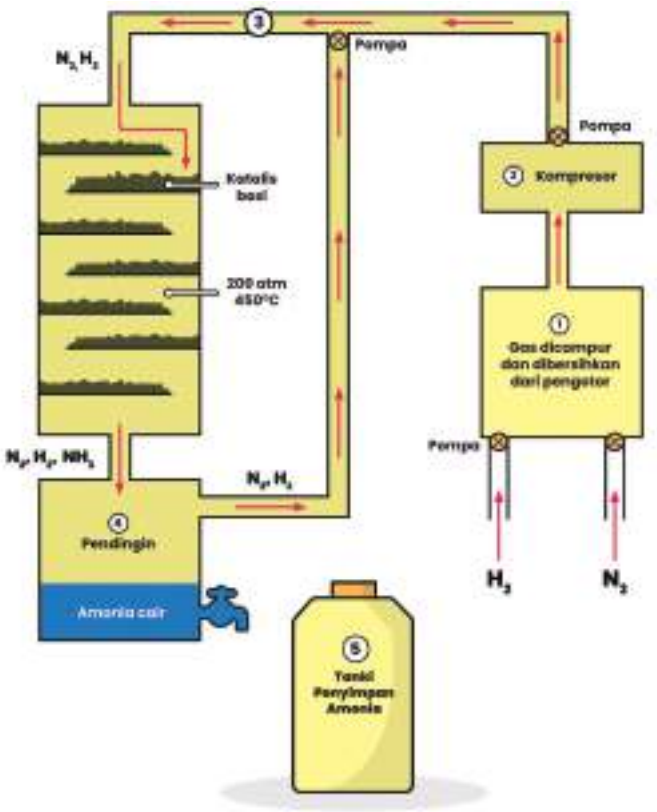
Prinsip dari kesetimbangan kimia banyak digunakan dalam dunia industri, salah satu yang paling populer adalah pembuatan amonia dengan proses Haber-Bosch.

Pupuk sebagai penyubur tanah pertanian sudah digunakan sejak zaman dahulu. Menurut para ahli, tiga unsur utama yang paling banyak digunakan adalah kalium, fosfor, dan nitrogen (Reger, Goode and Ball, 2011). Dengan meningkatnya populasi manusia, maka kebutuhan pupuk juga semakin besar. Sayangnya tumbuhan tidak bisa mengambil nitrogen langsung dari alam, meskipun nitrogen adalah unsur yang paling melimpah di atmosfer bumi. Untuk itulah ilmuwan memikirkan bagaimana cara memberikan unsur nitrogen kepada tanaman. Salah satu cara yang paling banyak digunakan adalah melalui pemberian pupuk yang mengandung nitrogen. Pupuk ini biasanya menggunakan amonia sebagai bahan bakunya, sehingga bisa dikatakan produksi amonia sebagian besar dipergunakan untuk pupuk.

Bagaimana amonia dibuat?

Proses pembuatan amonia yang paling banyak digunakan adalah proses Haber. Proses ini diperkenalkan oleh Fritz Haber, ilmuwan Jerman pada tahun 1913. Sebagian orang menyebutnya proses Haber-Bosch, untuk menghargai jasa Karl Bosch, ilmuwan Jerman lainnya yang mengembangkan peralatan pembuatan amonia untuk dunia industri. Karena prosesnya ditemukan oleh Haber dan peralatan produksinya untuk skala industri diperkenalkan oleh Karl Bosch, makanya proses pembuatan amonia ini disebut dengan proses Haber-Bosch.

Pada proses Haber-Bosch, amonia dibuat dengan menggunakan hidrogen yang diperoleh dari gas alam dan nitrogen dari alam. Proses pembuatannya berlangsung dalam sistem tertutup pada temperatur 400–500°C (Brady, 1990). Tahap pembuatan amonia dengan proses Haber-Bosch dapat dilihat pada ilustrasi berikut ini.



Gambar 7.8 Diagram alur proses Haber-Bosch

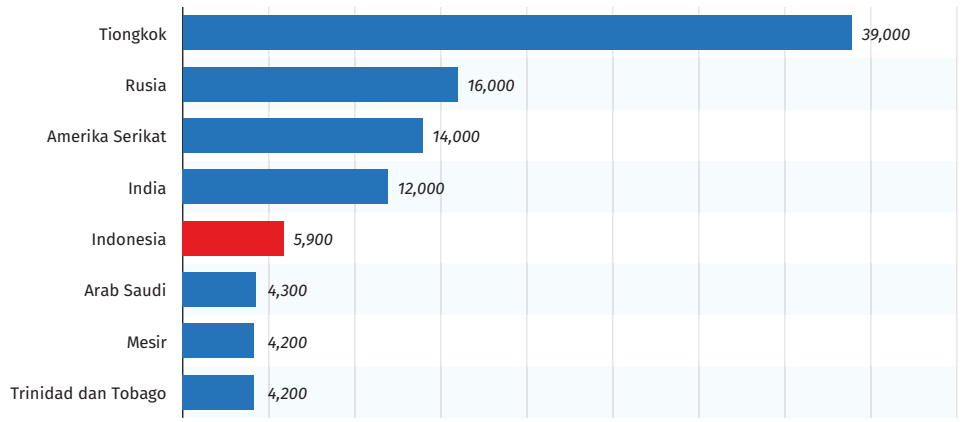
Sumber: Kemendikbudristek/Munasprianto Ramli (2022)

Penjelasan dari gambar di atas adalah sebagai berikut.

1. Pembuatan amonia dimulai dengan mencampurkan gas nitrogen dan hidrogen ke dalam tangki produksi. Nitrogen diperoleh dari alam dan hidrogen berasal dari gas metana. Kedua gas dicampur dan dibersihkan dari pengotor.
2. Campuran gas hidrogen dan nitrogen dimampatkan hingga tekanannya mencapai 200 atmosfer.
3. Gas yang sudah dimampatkan ini akan mengalir ke tangki bundar yang berisi katalis besi dengan suhu tangki 450°C.
4. Campuran gas didinginkan sehingga amonia mengembun menjadi cairan. Adapun nitrogen dan hidrogen yang masih berupa gas akan masuk kembali ke tangki bundar dan proses ini berulang terus-menerus.
5. Amonia yang sudah mencair dikeluarkan dan disimpan di dalam tangki penyimpan.

Pengayaan

Amonia dikenal sebagai gas dengan bau menyengat yang khas. Senyawa ini digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk urea. Mengingat Indonesia adalah negara agraris maka produksi amonia di Indonesia termasuk salah satu yang tertinggi di dunia. Dilansir dari halaman satitsta.com, Indonesia adalah produsen amonia kelima di dunia setelah Tiongkok, Rusia, Amerika Serikat, dan India.



Gambar 7.9 Produksi amonia di dunia pada 2021 dalam 1.000 metrik ton

Dalam proses Haber-Bosch, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

$N_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons NH_3(g) \qquad \Delta H = -92$ kJ

Dengan memerhatikan prinsip Le Chatellier, kira-kira langkah apa yang paling efektif untuk mengoptimalkan keuntungan dari produksi amonia?

Inti Sari

Reaksi kimia dapat berlangsung satu arah (*irreversible*) atau dua arah (*reversible*). Untuk reaksi dua arah, akan ada kondisi di mana laju pembentukan ke arah produk sama dengan laju pembentukan ke arah reaktan. Kondisi ini disebut kesetimbangan dinamis. Apabila kesetimbangan dinamis diganggu maka kesetimbangan akan berupaya meminimalisasi gangguan tersebut. Menurut Le Chatelier, ada tiga gangguan yang dapat mengubah arah kesetimbangan, yaitu perubahan konsentrasi, suhu, dan tekanan (volume). Hubungan konsentrasi dan tekanan dari zat-zat yang berada dalam sistem kesetimbangan dapat dinyatakan dalam bentuk tetapan/konstanta kesetimbangan. Kesetimbangan kimia sangat banyak digunakan dalam dunia industri, salah satunya untuk pembuatan amonia melalui proses Haber-Bosch.

Ayo Refleksi

Setelah mempelajari materi Kesetimbangan Kimia, silakan kalian merefleksi diri. Berilah ceklis (√) pada kolom Ya/Tidak untuk pernyataan di bawah ini.

No.	Pernyataan	Tanggapan	
		Ya	Tidak
1.	Saya dapat memahami prinsip kesetimbangan kimia.		
2.	Saya dapat menentukan tetapan kesetimbangan dan menjelaskan hubungan K_c dan K_p.		
3.	Saya dapat menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi kesetimbangan kimia,		

4. Saya dapat menjelaskan aplikasi kesetimbangan kimia dalam dunia industri, salah satunya melalui proses Haber-Bosch.

Menurut kalian, materi manakah yang sulit untuk dipahami dalam bab Kesetimbangan Kimia? Jelaskan alasannya!



Ayo Cek Pemahaman

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Perhatikan reaksi kesetimbangan berikut.

   $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 2O_2(g) \qquad \Delta H = -136$ kJ

   Jika pada saat kesetimbangan nilai $K_c = 0{,}001$, maka harga K_c akan menjadi lebih kecil apabila ....
   a. tekanan diperbesar
   b. volume diperbesar
   c. suhu diturunkan
   d. suhu dinaikkan
   e. ditambahkan katalis

2. Pada temperatur 900 K, reaksi:

   $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

   mempunyai nilai $K_p = 0{,}345$. Dalam keadaan kesetimbangan, tekanan parsial SO_2 dan O_2 masing-masing adalah 0,215 dan 0,679 atm. Maka, tekanan parsial gas SO_3 dalam keadaan kesetimbangan tersebut adalah .... *(OSN-2008)*
   a. 0,0504 atm
   b. 0,104 atm
   c. 0,0108 atm
   d. 0,302 atm
   e. 0,0910 atm

3. Dalam suatu wadah tertutup yang suhunya 25°C, sejumlah amonium karbamat ($N_2H_6CO_2$) menyublim dan terdisosiasi menjadi amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2) sesuai persamaan reaksi berikut.

$N_2H_6CO_2(s) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + CO_2(g)$

Setelah didiamkan beberapa lama, terjadi kesetimbangan dengan tekanan total gas sebesar 0,116 atm. Nilai K_p untuk reaksi tersebut adalah ....
(OSK-2015)

a. $4{,}20 \times 10^{-3}$
b. $2{,}99 \times 10^{-3}$
c. $4{,}64 \times 10^{-4}$
d. $3{,}40 \times 10^{-4}$
e. $2{,}31 \times 10^{-4}$

4. Pada suhu tertentu dalam wadah tertutup 1,5 liter terjadi reaksi dapat balik sebagai berikut.

$2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g)$

Jika pada kesetimbangan terdapat 3 mol NO, 4,5 mol O_2, dan 15 mol NO_2, maka nilai K_c untuk reaksi tersebut adalah ....

a. 0,12
b. 0,18
c. 0,90
d. 1,11
e. 8,33

5. Berikut reaksi kesetimbangan pembentukan gas NOCl dari gas NO dan Cl_2.

$2NO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2NOCl(g) \qquad \Delta H° = -77{,}07$ kJ

Jumlah gas NOCl akan bertambah bila ....

a. suhu diturunkan
b. gas Cl_2 dikurangi
c. volume wadah ditingkatkan
d. gas argon ditambahkan ke dalam campuran reaksi dengan volume wadah tetap
e. gas NOCl ditambahkan ke dalam campuran reaksi

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan tepat!

1. Di bawah ini ada dua reaksi kesetimbangan. Pada reaksi manakah, penambahan tekanan dari 2 atm menjadi 5 atm akan menggeser kesetimbangan ke arah produk? Jelaskan!

a. $SO_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2Cl_2(g)$
b. $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$

2. Sebuah pabrik kimia memproduksi gas klorin melalui proses Deacon. Reaksi yang terjadi adalah:

   $HCl(g) + O_2(g) \rightleftharpoons Cl_2(g) + H_2O(g) \qquad \Delta H = -1{,}47$ kJ

   Dengan memerhatikan prinsip-prinsip pergeseran kesetimbangan, sarankan apa yang mesti dilakukan oleh pabrik tersebut agar mereka mendapat keuntungan optimal!

3. Perhatikan reaksi kesetimbangan berikut ini!

   $SO_2Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2(g) + Cl_2(g)$

   Hitunglah nilai K_c dari reaksi kesetimbangan di atas, jika nilai K_p dari reaksi tersebut pada suhu 298 K adalah 0,03!

Glosarium

afinitas elektron; perubahan energi yang terjadi ketika suatu atom dalam keadaan gas menerima elektron.

alkana; senyawa hidrokarbon yang hanya memiliki rantai tunggal antaratom karbonnya.

alkena; senyawa hidrokarbon yang memiliki ikatan rangkap dua antaratom karbon dalam senyawanya.

alkuna; senyawa hidrokarbon yang memiliki ikatan rangkap tiga antaratom karbon dalam senyawanya.

anion; ion yang bermuatan negatif.

atom; bagian terkecil dari suatu unsur yang masih memiliki sifat unsur tersebut.

aturan Markovnikov; aturan pada reaksi adisi alkena oleh asam halida yang menyatakan bahwa atom hidrogen akan terikat pada atom C yang lebih banyak mengikat atom hidrogen lain.

bentuk molekul; susunan geometri tiga dimensi atom dalam molekulnya

bilangan kuantum; bilangan yang menyatakan kedudukan atau posisi elektron dalam atom yang diwakili oleh suatu nilai yang menjelaskan kuantitas kekal dalam sistem dinamis.

efek rumah kaca; menggambarkan kondisi atmosfer bumi yang seperti kondisi di dalam rumah kaca, di mana panas matahari terperangkap di dalamnya sehingga permukaan bumi menjadi hangat.

eksotermik; proses perubahan zat yang disertai pelepasan kalor dari sistem ke lingkungan.

elektron; partikel pembentuk atom yang mengelilingi inti dan bermuatan negatif.

elektron valensi; elektron yang berada pada kulit terluar suatu atom.

endotermik; proses perubahan zat yang disertai penyerapan kalor dari lingkungan ke sistem.

energi aktivasi; energi kinetik total minimum yang harus dimiliki oleh molekul ketika bertumbukan agar reaksi kimia dapat terjadi.

energi dalam; jumlah berbagai energi yang terdapat dalam suatu materi.

energi ikatan; energi yang dibutuhkan untuk memutuskan suatu ikatan kimia.

energi ikatan rata-rata; rata-rata energi disosiasi ikatan yang diperlukan untuk sejumlah spesies berbeda yang mengandung ikatan kovalen tertentu.

energi ionisasi; energi yang dibutuhkan suatu atom dalam keadaan gas untuk melepaskan satu elektron membentuk kation.

entalpi; fungsi termodinamika yang digunakan untuk mendeskripsikan proses pada tekanan konstan.

gas rumah kaca; gas-gas di atmosfer yang dapat menangkap radiasi panas matahari, di antaranya

karbon dioksida, nitrogen dioksida, dan freon.

gaya van der Waals; gaya antarmolekul yang terjadi pada molekul polar-polar, molekul polar-nonpolar, dan molekul nonpolar-nonpolar.

golongan; lajur vertikal (tegak) pada sistem periodik unsur

hidrokarbon; senyawa yang terdiri atas atom karbon dan hidrogen saja.

hidrokarbon alifatik; senyawa hidrokarbon rantai terbuka (asiklik) maupun rantai tertutup (siklik) yang tidak memenuhi aturan aromatisitas.

hidrokarbon aromatik; hidrokarbon siklis yang memiliki ikatan rangkap dua berselang-seling dan memenuhi aturan Huckel.

hukum Hess; hukum yang menyatakan bahwa jika dua atau lebih persamaan kimia digabungkan lewat penjumlahan atau pengurangan dan menghasilkan persamaan lain maka penjumlahan atau pengurangan perubahan entalpi untuk kedua persamaan tersebut juga menghasilkan perubahan entalpi yang berkaitan dengan persamaan reaksinya.

ikatan hidrogen; ikatan antarmolekul yang terjadi antara molekul yang memiliki atom hidrogen dengan molekul lain yang memiliki atom dengan keelektronegatifan yang tinggi (atom F, O, dan N).

ikatan ion; ikatan kimia yang terjadi karena adanya gaya elektrostatis antara ion positif dan ion negatif dalam senyawa ion.

ikatan kimia; ikatan yang terjadi antara atom dengan atom yang bergabung membentuk senyawa kimia yang stabil.

ikatan kovalen; ikatan kimia antara atom dengan atom karena pemakaian bersama pasangan elektron.

ikatan kovalen koordinasi; ikatan kimia antara atom dengan atom, tetapi pasangan elektron yang dipakai bersama berasal dari salah satu atom.

ikatan kovalen nonpolar; ikatan kovalen antara atom-atom, di mana pasangan elektron yang dipakai bersama berada pada jarak yang sama dari dua atom yang saling berikatan.

ikatan kovalen polar; ikatan kimia antara atom dengan atom, tetapi pasangan elektron yang dipakai bersama lebih dekat ke salah satu atom yang memiliki keelektronegatifan yang lebih besar.

ikatan logam; ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik inti atom-atom logam dengan lautan elektron.

inti atom; bagian dari atom, berisi proton yang bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan.

isobar; atom-atom dari unsur yang berbeda, tetapi memiliki nomor massa yang sama.

isomer; dua senyawa atau lebih yang memiliki rumus kimia yang sama, tetapi struktur atau penataan ruangnya berbeda.

isomer ruang; dua senyawa atau lebih dengan rumus molekul sama, tetapi dengan penataan ruang yang berbeda.

isomer struktur; dua senyawa atau lebih dengan rumus molekul sama, tetapi strukturnya berbeda.

isoton; atom-atom dari unsur yang berbeda, tetapi memiliki jumlah neutron yang sama.

isotop; atom-atom dari unsur yang sama (memiliki jumlah proton yang sama), tetapi memiliki nomor massa yang berbeda.

jari-jari atom; jarak antara inti atom sampai dengan elektron pada kulit terluar.

kaidah oktet; kaidah yang menjadi dasar terbentuknya kestabilan suatu atom dengan memiliki jumlah elektron sama seperti unsur gas mulia, yaitu delapan elektron.

kalor; salah satu bentuk energi yang diserap atau dilepaskan oleh suatu materi.

kalor jenis; jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg suatu zat sebesar 1°C.

kalor reaksi; kalor yang berpindah dari sistem ke lingkungan atau dari lingkungan ke sistem agar temperatur sistem sesudah reaksi sama dengan temperatur sistem sebelum reaksi.

kalorimeter; alat yang dipakai untuk menentukan kalor reaksi.

kalorimetri; ilmu yang mempelajari pengukuran panas dari suatu reaksi kimia.

kapasitas kalor; besaran terukur yang menggambarkan banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat (benda) sebesar jumlah tertentu.

katalis; zat yang mampu mempercepat laju reaksi; katalis ikut bereaksi, tetapi di akhir reaksi katalis terbentuk kembali seperti semula.

kation; ion yang bermuatan positif.

keelektronegatifan; ukuran kemampuan suatu atom untuk mengikat elektron.

kereaktifan; mudah atau sukarnya suatu atom untuk bereaksi dengan atom lainnya membentuk ikatan.

kesetimbangan homogen; suatu keadaan di mana semua unsur atau senyawa yang berada pada sistem kesetimbangan mempunyai fase yang sama.

kesetimbangan heterogen; suatu keadaan di mana semua unsur atau senyawa yang berada pada sistem kesetimbangan mempunyai fase yang berbeda.

kesetimbangan kimia; keadaan ketika konsentrasi reaktan dan produk dalam sistem tidak berubah akibat laju pembentukan ke arah produk sama dengan laju pembentukan ke arah reaktan.

konfigurasi elektron; bentuk distribusi elektron pada setiap kulit dalam suatu atom.

laju reaksi; perubahan konsentrasi tiap satuan waktu.

mol; satuan yang digunakan untuk menunjukkan jumlah zat.

neutron; partikel penyusun atom yang tidak memiliki muatan.

nomor atom; nomor yang menyatakan jumlah proton dalam inti suatu atom.

nomor massa; nomor yang menyatakan jumlah proton dan neutron dalam inti atom.

orbital; daerah kebolehjadian menemukan elektron di sekitar inti atom.

orde reaksi; variabel yang menunjukkan pengaruh konsentrasi pereaksi terhadap laju reaksi.

pereaksi pembatas; reaktan yang habis bereaksi ketika reaktan lain masih bersisa.

periode; lajur horizontal (mendatar) pada sistem periodik unsur

persamaan laju reaksi; kalimat matematika yang menghubungkan antara reaksi dan konsentrasi reaktan dengan konstanta.

persen hasil; persentase yang menunjukan perbandingan antara hasil aktual terhadap hasil teoretis.

persen kemurnian; kadar kemurnian dari bahan kimia

perubahan entalpi pembentukan standar; perubahan entalpi yang terjadi dalam pembentukan 1 mol senyawa dari unsur-unsurnya yang paling stabil pada keadaan standar (298K,1 atm, 1 molar).

perubahan entalpi reaksi standar; perubahan entalpi suatu reaksi yang semua reaktan dan produknya berada pada keadaan standar.

prinsip le Chatellier; faktor-faktor yang memengaruhi kesetimbangan kimia sesuai dengan apa yang disampaikan oleh ahli kimia berkebangsaan Prancis yang bernama le Chatellier.

proses Haber-Bosch; proses pembuatan amonia yang diperkenalkan oleh ilmuwan Jerman Bernama Haber dan Bosch.

proton; partikel penyusun atom yang terletak pada inti atom dan bermuatan positif.

reaksi adisi; reaksi penambahan gugus pada ikatan rangkap dengan cara memutuskan ikatan rangkap pada alkena dan alkuna.

reaksi eliminasi; reaksi pengurangan/ eliminasi gugus atau substituen tertentu dari hidrokarbon sehingga terbentuk ikatan rangkap.

reaksi substitusi; reaksi penggantian atom hidrogen dengan atom lain pada alkana.

reaktan; unsur/senyawa yang bereaksi dalam sebuah reaksi kimia.

rumus molekul; jumlah sebenarnya dari atom yang menyusun molekul senyawa.

rumus empiris; perbandingan paling sederhana dari jumlah atom-atom yang menyusun molekul suatu senyawa.

sifat periodik unsur; sifat unsur yang berhubungan dengan posisi unsur dalam sistem periodik unsur.

sistem periodik unsur; tabel yang berisi susunan unsur-unsur.

stoikiometri; hubungan kuantitatif antara reaktan dan produk dalam sebuah reaksi kimia

termokimia; bagian dari ilmu kimia yang mempelajari tentang perubahan kalor yang menyertai perubahan materi.

struktur Lewis; struktur yang menunjukkan jumlah ikatan atom-atom yang terikat membentuk molekul dan pasangan elektron bebas jika ada.

teori VSEPR; teori yang menjelaskan tentang gaya tolakan pasangan elektron bebas yang menyebabkan perubahan bentuk molekul.

teori hibridisasi; teori yang menjelaskan orbital-orbital atom yang bergabung menjadi orbital molekul untuk membentuk suatu ikatan.

tetapan kesetimbangan; angka yang menunjukkan perbandingan kuantitatif antara produk dan reaktan, baik itu perbandingan konsentrasi maupun perbandingan tekanan.

Daftar Pustaka

Brady, J.E. 1990. *General Chemistry: Principles & Structures*. New York: John Wiley and Sons.

Effendy. 2007. *Perspektif Baru Kimia Koordinasi, Jilid ke-1*. Malang: Bayumedia Publishing.

Ferner, R.E & Aronson J.K. 2015. Cato Guldberg and Peter Waage, the History of the Law of Mass Action, and it's Relevance to Clinical Pharmacology. *British Journal of Clinical Pharmacology*.

Harwood, R. & Lode, I. 2014. *Cambridge IGCSE Chemistry: Coursebook*. Cambridge: Cambridge University Press.

Keenan, W.K., Klienfelter, D.C., & Wood, J.H. 1989. *Kimia untuk Universitas* (terjemahan: A. Hadyana P., jilid I). Jakarta: Erlangga.

Nuryono, 2018. *Kimia Anorganik: Struktur dan Ikatan*. Yogyakarta: UGM-Press.

Petruci, R.H. & Suminar. 1999. *Kimia Dasar: Prinsip dan Terapan Modern*. Jakarta: Erlangga.

Reger, D.L., Goode, S.R., & Ball, D.W. 2010. *Chemistry: Principles and Practice, 3th Edition*. California: Brooks/Cole.

Sugiyarto, K.H. 2012. *Dasar-Dasar Kimia Anorganik*. Yogyakarta: Transisi Graha Ilmu.

Syukri, 1999. *Kimia Dasar I*. Bandung: ITB.

Toon, T.Y., dkk. 2014. *Chemistry Matters: GCE O Level, 2nd Edition*. Singapore: Marshall Cavendish.

Daftar Kredit Gambar

Gambar 1.1: Nick, 2017. *Matahari menyinari bumi*. Diakses melalui https://pixabay.com/id/photos/bunga-bunga-padang-rumput-276014/ pada 6 Oktober 2022.

Gambar 1.15: Larisa-K, 2014. *Warna-warni nyala kembang api*. Diakses melalui https://pixabay.com/id/photos/kembang-api-malam-tahun-baru-kota-1953253/ pada 29 September 2022.

Gambar 2.21: rawpixel.com, 2017. *A sick asian man in a hospital*. Diakses melalui https://www.freepik.com/free-photo/sick-asian-man-hospital_18410853.htm pada 21 Desember 2022.

Gambar 5.1: RitaE, 2013. *Sampah yang menumpuk*. Diakses melalui https://pixabay.com/id/photos/sampah-tempat-sampah-limbah-2729608/ pada Agustus 2022.

Gambar 5.2: Nicolae Baltatescu, 2021. *Balon udara*. Diakses melalui https://pixabay.com/id/photos/balon-udara-ballon-balon-api-udara-5979187/ pada Agustus 2022.

Gambar hlm. 141: P.A. Smirnov, 1850. *Germain Henri Hess*. Diakses melalui https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hess_Germain_Henri.jpg pada 20 December 2022.

Gambar 6.1: Istvan Asztaloz, 2014. *Api unggun*. Diakses melalui https://pixabay.com/id/photos/api-api-kayu-berpendar-panas-227291/ pada Agustus 2022.

Gambar 6.1: Istvan Asztalos, 2014. *Pagar besi berkarat*. Diakses melalui https://pixabay.com/id/photos/penghalang-besi-karat-berkarat-368389/ pada Agustus 2022.

Gambar hlm. 192: H. Riffarth, 1891. *Guldberg dan Waage*. Diakses melalui https://en.wikipedia.org/wiki/Peter_Waage#/media/File:Guldberg_und_Waage_01.jpg pada 20 Desember 2022.

Indeks

A

Afinitas elektron: vii, 23, 29, 35, 38, 211, 216
alifatik: 98-99, 104, 212, 216
alkali: vii, 19, 26-27, 37, 45, 216
alkali tanah: 26, 45, 216
alkana: vi, x, 89, 99-101, 104, 108, 110, 211, 214, 216
alkena: vi, x, 89, 99, 104-105, 108, 111-112, 211, 214, 216
alkil: x, 100-101, 104, 216
alkuna: vi, x, 89, 99, 104-105, 108, 111, 118, 211, 214, 216
anode: 5, 216
aromatik: vi, 89, 98, 106, 212, 216
atom karbon: v, 48, 51, 58, 71, 89, 92-96, 99-101, 104, 112-113, 116, 212, 216
aturan Aufbau: 13, 17, 216

B

bilangan Avogadro: 68, 216
bilangan kuantum: 1, 11-12, 14, 211, 216
bilangan oksidasi: 24, 216

D

deret homolog: 99, 216
Dimitri Mendeleev: 15, 216
dipol: viii, 54-56, 216

E

efek Zeeman: 10, 216
eksotermik: vi, viii, 125-127, 130, 133, 151, 154, 202, 211, 216
elektrokimia: 26, 216
elektron: vii, viii, x, 1, 4-5, 7-14, 17, 20-24, 29-30, 34-35, 37-43, 45-53, 55, 92-93, 211-214, 216-217
elektron valensi: 10, 37, 42-43, 45, 49-50, 52-53, 93, 211, 216
endotermik: vi, viii, 125-127, 130-131, 133-134, 151, 202, 211, 216
energi aktivasi: ix, 158-159, 178-179, 211, 216
energi ikatan: vi, x, 119, 145-148, 152, 211, 216
energi ionisasi: vii, 20-23, 29, 35, 37-38, 211, 216
entalpi: vi, viii, x, 119, 129-134, 136-138, 140-141, 146-148, 152-154, 202, 211-212, 214, 216, 218
Ernest Rutherford: 6, 216
Erwin Schrödinger: 10, 216
Eugene Goldstein: 6, 216

F

Friedrich Hund: 13, 216

G

gas ideal: 196, 199, 216
gas mulia: 17, 33-35, 53, 213, 216
gaya dispersi: 55, 216
gaya van der Waals: 53-55, 107, 212, 216
Germain Henri Hess: 141, 216
Gilbert Lewis: 34, 216
golongan transisi: 45, 216
Guldberg dan Waage: 192, 216

H

Haber-Bosch: ix, 204-205, 207, 214, 217
halogen: 23-25, 29, 108, 217
hidrokarbon: v, vi, viii, 61, 89, 91-92, 97-100, 106-107, 109-111, 113-114, 116-117, 211-212, 214, 217
hukum Hess: vi, 119, 140-141, 143-144, 212, 217

I

ikatan hidrogen: viii, 53, 56-57, 212, 217
ikatan ion: v, vii, 31, 36-37, 39, 43, 57, 212, 217
ikatan kovalen: v, vii, viii, 38-43, 46, 55, 93, 145-146, 211-212, 217
ikatan kovalen koordinasi: viii, 41-42, 212, 217
inti atom: viii, 9, 12, 20-22, 45, 212-214, 217
isobar: 8, 212, 217
isomer: vi, 100, 110-113, 117-118, 212, 217
isomer gugus fungsi: 111, 217
isomer posisi: 111, 217
isoton: 8, 28, 212, 217
isotop: 8, 213, 217

J

jari-jari atom: vii, 19-22, 29, 213, 217
Johann Döbereiner: 15, 217
John Dalton: 4, 217
John Newlands: 15, 217
Joseph Thomson: 5, 217

K

kaidah oktet: 34-35, 39, 42-43, 61-62, 213, 217
kalor: 119, 121, 123-135, 140, 151, 211, 213-214, 217
kalorimeter: viii, 119, 127-129, 131-133, 148-149, 213, 217
kalorimeter bom: viii, 128-129, 131, 217
kalorimetri: vi, 127, 133, 213, 217
kalor jenis: 128-129, 132-133, 213, 217
kapasitas kalor: 128-129, 213, 217
Karl Braun: 5, 217
katalis: ix, 108, 178-180, 206, 208, 213, 217
katode: vii, 4-6, 217-218
keelektronegatifan: vii, 24, 29, 40, 48-49, 55, 57, 212-213, 217
kepolaran: 31, 40, 42, 48, 53, 217
kereaktifan: 1, 213, 217
kesetimbangan dinamis: 190-191, 217
kesetimbangan heterogen: 191, 213, 217
kesetimbangan homogen: 191, 213, 217
konfigurasi elektron: vii, x, 1, 12-14, 17, 29, 34-35, 92, 213, 217
konsep mol: v, 63, 68, 217
konstanta Planck: 9, 217
kulit atom: 9, 217

L

laju reaksi: vi, ix, 155, 157, 159-172, 174-180, 182-184, 189, 213-214, 217
Le Chatelier: 200, 217
Louis de Broglie: 10, 217

M

Markovnikov: 108-109, 211, 217
massa molar: 69, 71, 73, 81-82, 217
mekanika kuantum: v, 10-12, 217
model atom: vii, 1, 5-6, 9-12, 217
Moseley: 15, 217

N

nama trivial: 104, 217
neutron: 4, 7-8, 212-213, 217
Niels Bohr: 9, 217
nomor atom: 3, 8, 15, 29, 43, 92, 213, 217
nomor massa: 3, 8, 15, 212-213, 217
nonpolar: 40, 49, 54-55, 62, 212, 217
notasi atom: 8, 217

O

oksidator: 24, 218
orbital: vii, 10-14, 18, 41, 46-47, 52-53, 213-214, 218
orde reaksi: vi, ix, 155, 165-166, 169-170, 183-184, 213, 218

P

pereaksi pembatas: v, 63, 66, 74-78, 213, 218
persen hasil: v, 63, 66, 79-81, 214, 218

perubahan entalpi: vi, viii, x, 119, 129-134, 136-138, 140-141, 146-148, 152-154, 212, 214, 218
polar: vii, 40-41, 54-55, 61-62, 212, 218
proton: 4, 6-8, 30, 212-214, 218

R

rantai karbon: 93-94, 96, 101, 104, 218
reaksi adisi: 108, 211, 214, 218
reaksi eliminasi: 109, 214, 218
reaksi oksidasi: 107, 218
reaksi penetralan: 131-132, 218
reaksi substitusi: 108, 214, 218
reaktan: 65-67, 74, 77-80, 139, 146, 162-163, 165, 188-192, 194, 199, 202-203, 213-214, 218
reduksi: 25, 218
rumus empiris: v, 63, 70-73, 87-88, 214, 218
rumus molekul: v, 63, 70-73, 99, 110-111, 212, 214, 218

S

sel surya: 26, 218
sikloalkana: 99, 101, 111-112, 218
sinar kanal: vii, 6, 218
sinar katode: vii, 5-6, 218
sistem periodik unsur: v, vii, 1, 15-19, 21, 28, 37, 212, 214, 218
stoikiometri: v, 63, 66, 82, 86, 214, 218, 224
struktur atom: v, 1, 4, 11, 28, 37, 218, 224
struktur Lewis: viii, 42, 50, 214, 218
sudut ikatan: 46, 52, 218

T

tekanan parsial: 194-195, 198, 208, 218
teori atom: v, 4, 10, 218
teori hibridisasi: 46, 52, 214, 218
teori VSEPR: 31, 47, 49, 52, 214, 218
tetapan kesetimbangan: vi, 185, 192-196, 198, 214, 218
tingkat energi: viii, 9, 11-13, 141-143, 152, 218
triade: 15, 218

W

Werner Heisenberg: 10, 218
Wilhelm Wien: 6, 218
William Crookes: 5, 218
Wolfgang Pauli: 10, 12, 218

Profil Pelaku Perbukuan

Biodata Penulis



Nama Lengkap : Munasprianto Ramli
Email : munasramli@gmail.com
Instansi : UIN Syarif Hidayatullah
Alamat Instansi : Jl. Ir. H. Juanda No. 95 Ciputat
Bidang Keahlian : Pendidikan Kimia-Pendidikan IPA

Riwayat Pekerjaan (10 tahun terakhir):
Dosen

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:
1. S3 University of Manchester (2017)
2. S2 McGill University (2006)
3. S1 Kimia Universitas Indonesia (2005)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
Tidak ada

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
1. Indonesian Students' Scientific Literacy in Islamic Junior High School, 2022
2. Membangun Keterampilan Proses Sains Mahasiswa pada Masa Pandemi Melalui Chemistry Home Experiments
3. Assessing Islamic Junior High Schools Students Scientific Literacy Using PISA Released Items

Buku yang Pernah Ditelaah, Direviu, Dibuat Ilustrasi dan/atau Dinilai (10 tahun terakhir):
Tidak ada

Informasi Lain dari Penulis:
https://scholar.google.nl/citations?user=J96V9A4AAAAJ&hl=en

Biodata Penulis

Nama Lengkap : Nanda Saridewi, M.Si.
Email : nanda.saridewi@uinjkt.ac.id
Instansi : UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
Alamat Instansi : Jl. Ir. H. Juanda No. 95 Ciputat
Bidang Keahlian : Kimia



Riwayat Pekerjaan (10 tahun terakhir):
Dosen Kimia UIN Syarif Hidayatullah Jakarta (2009–sekarang)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:
1. Pascasarjana Kimia, Universitas Andalas, Padang (2006–2008)
2. Sarjana Kimia, FMIPA, Universitas Andalas, Padang (2002–2006)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
Tidak ada

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
1. Synthesize Metal Organic Frameworks from Chromium Metal Ions and PTCDA Ligands for Methylene Blue Photodegradation, *RASĀYAN Journal of Chemistry* (2022)
2. Synthesis of ZnO-Fe_3O_4 Magnetic Nanocomposites through Sonochemical Methods for Methylene Blue Degradation, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis (BCREC)* (2022)
3. Synthesis of NiCo/Hierarchical Zeolite Catalyst for Catalytic Cracking of Jatropha Oil, *RASĀYAN Journal of Chemistry* (2022)

Buku yang Pernah Ditelaah, Direviu, Dibuat Ilustrasi dan/atau Dinilai (10 tahun terakhir):
Tidak ada

Informasi Lain dari Penulis:
https://scholar.google.co.id/citations?user=2bqc0F4AAAAJ&hl=en ID

Biodata Penulis



Nama Lengkap : Tiktik Mustika Budhi, S.Pd.
Email : tiktikbudhi0510@gmail.com
Instansi : SMA Negeri 4 Bandung
Alamat Instansi : Jl. Gardujati No. 20 Bandung
Bidang Keahlian : Kimia

Riwayat Pekerjaan (10 tahun terakhir):

1. Guru Kimia di SMA Al-Falah Kota Bandung (DPK) (1997-2016)
2. Guru Kimia di SMA Negeri 4 Bandung (2016-Sekarang)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:
S1 Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA UPI Bandung Tahun 1999

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
Tidak ada

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
Upaya Meningkatkan Pemahaman dan Hasil Belajar Kimia pada Materi Sel Volta dengan Menggunakan Metode Inkuiri Terbimbing di Kelas XII MIPA 5/ Semester 1 SMA Negeri 4 Bandung Tahun Ajaran 2019-2020, *Jurnal Multidisiplin Indonesia* (2022).

Buku yang Pernah Ditelaah, Direviu, Dibuat Ilustrasi dan/atau Dinilai (10 tahun terakhir):

1. Buku Siswa Kimia untuk SMA/SMK Kelas XII, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia, 2021
2. Buku Guru Kimia untuk SMA/SMK Kelas XII, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia, 2021

Informasi Lain dari Penulis:
Tidak ada

Biodata Penulis

Nama Lengkap : Aang Suhendar, S.Pd., M.Si.
Email : aang.kimia@gmail.com
Instansi : SMA Alfa Centauri
Alamat Instansi : Jalan Diponegoro No. 48 Bandung
Bidang Keahlian : Kimia



Riwayat Pekerjaan (10 tahun terakhir):
1. Guru Kimia SMA Alfa Centauri (2011 - sekarang)
2. Tentor Kimia Sony Sugema College (2011-2018)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:
1. S-2 Kimia FMIPA Institut Teknologi Bandung (2016-2018)
2. S-1 Pendidikan Kimia FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia (2006-2011)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
1. Pasti Bisa Lulus UN 2016 (Penerbit Ruang Kata, Imprint Kawan Pustaka, 2015)
2. Perjuangan, Kisah Perjuangan dan Inspirasi (Penerbit Ikut Lomba, 2019)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
Aang Suhendar, Rukman Hertadi, and Yani F. Alli. Molecular Dynamics Study of Oleic Acid-Based Surfactants for Enhanced Oil Recovery. 2018, *Scientific Contributions Oil & Gas, Vol. 41. No. 3*, December 2018: 125–135

Buku yang Pernah Ditelaah, Direviu, Dibuat Ilustrasi dan/atau Dinilai (10 tahun terakhir):
Kimia Kelas XII (Kemdikbudristek, 2021)

Informasi Lain dari Penulis:
Tidak ada

Biodata Penelaah



Nama Lengkap : Roto
Email : roto05@ugm.ac.id
Instansi : FMIPA UGM
Alamat Instansi : Sekip Utara Yogyakarta 55281
Bidang Keahlian : Kimia material

Riwayat Pekerjaan (10 tahun terakhir):
Dosen di Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (1991–2022)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:
1. S3 Kimia, University of New Brunswick Canada, 2005
2. S2 Kimia Terapan, Keio University Japan, 1998
3. S1 Kimia, Universitas Gadjah Mada, 1991

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
1. Surface Modification of Fe_3O_4 as Magnetic Adsorbents for Recovery of Precious Metals, Intech Open, 2018
2. Panduan Tracer Study, Kantor Jaminan Mutu Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012
3. Material Canggih, Departemen Kimia FMIPA UGM, Kelompok Riset, Material-Jurusan Kimia UGM Yogyakarta, ISBN 9791707707, 2010

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
1. 2022, QCM Termodifikasi Nanofiber Polimer dan Metal Oksida sebagai Sensor Senyawa Organik Volatil
2. 2022, Remediasi Sungai Bengawan Solo dari Pencemar Limbah Batik: Studi Potensi Bahaya dan Metode Degradasi
3. 2021, Nanopartikel $CoFe_2O_4/SiO_2$ sebagai Adsorben Logam Tanah Jarang
4. dan sebagainya

Buku yang Pernah Ditelaah, Direviu, Dibuat Ilustrasi dan/atau Dinilai (10 tahun terakhir):
Tidak ada

Informasi Lain dari Penelaah:
https://scholar.google.com/citations?user=kNtj2BQAAAAJ&hl=id

Biodata Penelaah

Nama Lengkap : Sri Mulyani
Email : srimulyani@upi.edu
Instansi : Universitas Pendidikan Indonesia
Alamat Instansi : Jl. Dr. Setiabudi No. 229 Bandung
Bidang Keahlian : Pendidikan Kimia



Riwayat Pekerjaan (10 Tahun Terakhir):
1985-2022 Dosen di Program Studi Pendidikan Kimia FPMIPA UPI

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:
1. S3 Pendidikan IPA, konsentrasi Pendidikan Kimia, UPI, 2012
2. S2 Kimia, ITB, 1991
3. S1 Pendidikan Kimia, IKIP Bandung, 1985

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
Modul Materi Kurikuler Kimia SMP dan SMA, UT

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
1. Pengembangan Game Edukasi untuk Membangun Model Mental Siswa dalam Kimia, 2022.
2. Studi Strategi Intertekstual untuk Mengatasi *Threshold Concept, Troublesome Knowledge*, dan Miskonsepsi Berdasarkan Model Mental Siswa, 2018-2020.
3. dan sebagainya

Buku yang Pernah Ditelaah, Direviu, Dibuat Ilustrasi dan/atau Dinilai (10 tahun terakhir):
1. Modul Guru Pembelajar, Mata Pelajaran Kimia SMA, Kelompok Kompetensi A, Pedagogi: Perkembangan Peserta Didik; Profesional: Struktur Atom, Stoikiometri 1, Asam-Basa, Redoks 1, 2016.
2. Modul Guru Pembelajar, Mata Pelajaran Kimia SMA, Kelompok Kompetensi B, Teori Belajar dan Implementasinya dalam Pembelajaran IPA, 2016.
3. Modul Guru Pembelajar, Mata Pelajaran Kimia SMA, Kelompok Kompetensi C, Metode dan Pendekatan Pembelajaran, 2016.
4. dan sebagainya

Informasi Lain dari Penelaah:
Tidak ada

Biodata Penyunting dan Desainer

Nama Lengkap : Harris Syamsi Yulianto
Email : harrissyulianto@gmail.com
Instansi : *Freelancer*
Alamat Instansi : Jl. H. Cepit No. 32 RT 01/03 Jatimulya, Cilodong, Kota Depok
Bidang Keahlian : Pengolah buku

Riwayat Pekerjaan (10 Tahun Terakhir):
1. Editor & Desainer *Freelance*, Wirausaha (2016–sekarang)
2. Editor di Penerbit Puspa Swara, Grup Trubus (2009–2016)

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:
S1 Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (1999–2004)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
1. Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara untuk SMK Kelas X (2022, Kemdikbudristek)
2. Buku Panduan Guru Bahasa Indonesia Tingkat Lanjut SMA/MA Kelas XII (2022, Kemdikbudristek)
3. Sang Penjaga Hutan (2020, Multisarana Nusa Persada)
4. Bara di Rumah Morita (2020, Multisarana Nusa Persada)
5. Merevitalisasi Desa Mengakhiri Marjinalisasi (2019, Puspa Swara)
6. Selayang Pandang Bina Swadaya (2019, Puspa Swara)
7. Kitab Munajatun Nisa': Doa-Doa Mustajab Khusus Wanita (2019, Kaysa Media)
8. dan sebagainya

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 tahun terakhir):
Tidak ada

Buku yang Pernah Ditelaah, Direviu, Dibuat Ilustrasi dan/atau Dinilai (10 tahun terakhir):
1. Atlas Indonesia & Dunia Terkini & Terlengkap (2018, Puspa Swara)
2. Kumpulan Terlengkap Lagu Wajib Nasional (2018, Puspa Swara)
3. Kumpulan Terlengkap Lagu Daerah (2018, Puspa Swara)

Informasi Lain:
Tidak ada

Biodata Ilustrator

Nama Lengkap : Arief Firdaus
Email : aipirdoz@gmail.com
Instansi : *Freelancer*
Alamat Instansi : Bekasi
Bidang Keahlian : Ilustrator, visualizer, dan grafik desainer

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 tahun terakhir):
Illustrator & Graphic Designer Freelance, 2017–sekarang

Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:
S1 Jurusan Desain Komunikasi Visual, Universitas Persada Indonesia YAI, Jakarta, 2004

Buku yang Pernah Dibuat Ilustrasi/Desain (10 tahun terakhir):
1. 16 judul buku cerita anak – Direktorat PAUD, Kemendikbud, 2017-2018
2. "Kain Songket Mak Engket" – Penulis: Wylvera W., 2018
3. "Payung Kebohongan" – Penulis: Iwok Abqary, 2019
4. "Bimbim Tidak Mau Mandi" – Penulis: Iwok Abqary, 2019
5. Komik "Jagoan Sungai" – Penulis: Iwok Abqary, 2019
6. "Aku Anak Indonesia, Aku Suka Makan Ikan" – HIMPAUDI, 2019
7. Komik Rabies – Subdit Zoonosis, Kemenkes, 2020

Informasi Lain:
Akun Instagram : aipirdoz

Nama Lengkap : Felia Febriany Gunawan
Email : feliafebrianyy@gmail.com
Instagram, website : @ailef_arts, feliafebrianygunawan.carrd.co
Bidang Keahlian : Ilustrasi

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 tahun terakhir):
Freelance Illustrator (2021-sekarang)

Karya/Pameran/Eksibisi dan Tahun Pelaksanaan (10 tahun terakhir):
Pameran Ilustrasi Buku Anak PiBo, Jakarta Content Week 2022, Taman Ismail Marzuki, 2022.

Buku yang Pernah Dibuat Ilustrasi/Desain (10 tahun terakhir):
"Rusa yang Tidak Bersyukur", Buku Carita Barudak UNPAR, 2021.