KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA
2023

# ILMU PENGETAHUAN ALAM

Edisi Revisi

Niken Resminingpuri Krisdianti
Elizabeth Tjahjadarmawan
Ayuk Ratna Puspaningsih

SMA/MA KELAS X

**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.

**Ilmu Pengetahuan Alam untuk SMA/MA Kelas X (Edisi Revisi)**

**Penulis**
Niken Resminingpuri Krisdianti
Elizabeth Tjahjadarmawan
Ayuk Ratna Puspaningsih

**Penelaah**
Anna Permanasari
Wahyu Srigutomo
Ari Widodo

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

**Kontributor**
Remigius Gunawan Susilowarno
Wahyudi Prasetianto
Aditiya Nugraha

**Ilustrator**
Yul Chaidir
Fajar Aditama

**Editor**
Harris Syamsi Yulianto

**Editor Visual**
Is Yuniarto Nafawi

**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

**Edisi Revisi, 2023**
ISBN 978-623-118-460-3 (no.jil.lengkap PDF)
ISBN 978-623-118-461-0 (jil.1 PDF)

Isi buku ini menggunakan huruf Noto Serif 10pt, Apache License.
xvi, 304 hlm.: 17,6 × 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 berkaitan erat dengan kurikulum. Buku yang dikembangkan saat ini mengacu pada kurikulum yang berlaku, yaitu Kurikulum Merdeka.

Salah satu bentuk dukungan terhadap implementasi Kurikulum Merdeka di satuan pendidikan ialah mengembangkan buku teks utama yang terdiri atas buku siswa dan panduan guru. Buku ini merupakan sumber belajar utama dalam pembelajaran bagi siswa dan menjadi salah satu referensi atau inspirasi bagi guru dalam merancang dan mengembangkan pembelajaran sesuai karakteristik, potensi, dan kebutuhan peserta didik. Keberadaan buku teks utama ini diharapkan menjadi fondasi dalam membentuk Profil Pelajar Pancasila yang beriman dan bertakwa kepada Tuhan yang Maha Esa, dan berakhlak mulia; berkebinekaan global, berjiwa gotong royong, mandiri, kritis, dan kreatif.

Buku teks utama, sebagai salah satu sarana membangun dan meningkatkan budaya literasi masyarakat Indonesia, perlu mendapatkan perhatian khusus. Pemerintah perlu menyiapkan buku teks utama yang mengikuti perkembangan zaman untuk semua mata pelajaran wajib dan mata pelajaran peminatan, termasuk Pendidikan Khusus. Sehubungan dengan hal itu, Pusat Perbukuan merevisi dan menerbitkan buku-buku teks utama berdasarkan Capaian Pembelajaran dalam Kurikulum Merdeka.

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkolaborasi dalam upaya menghadirkan buku teks utama ini. Kami berharap buku ini dapat menjadi landasan dalam memperkuat ketahanan budaya bangsa, membentuk mentalitas maju, modern, dan berkarakter bagi seluruh generasi penerus. Semoga buku teks utama ini dapat menjadi tonggak perubahan yang menginspirasi, membimbing, dan mengangkat kualitas pendidikan kita ke puncak keunggulan.

Jakarta, Desember 2023
Kepala Pusat Perbukuan,

Supriyatno, S.Pd., M.A.

# Prakata

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas izin dan karunia-Nya, Buku Siswa Ilmu Pengetahuan Alam Kelas X edisi revisi ini dapat selesai. Buku ini digunakan oleh kalian, siswa kelas X jenjang SMA/MA, sebagai buku teks yang menjadi sumber belajar utama. Buku siswa ini terdiri atas delapan bab. Setiap babnya diawali dengan konteks keseharian kalian yang berkaitan dengan materi sains yang akan dibahas. Kalian juga diajak untuk ikut ambil bagian sebagai warga global yang bertanggung jawab dalam merespons isu-isu global yang sedang terjadi. Isu-isu itu antara lain pandemi virus Covid-19, perubahan iklim, peluang pemanfaatan potensi sumber daya alam Indonesia berbasis teknologi terkini, dan sumber energi ramah lingkungan. Berbagai aktivitas yang disajikan pada buku ini adalah topik keseharian dan kontekstual, yang dapat diamati dalam keseharian kalian.

Keunggulan buku siswa ini yaitu (1) isinya telah disesuaikan dengan revisi Capaian Pembelajaran terbaru Oktober 2023, (2) ulasan materi disesuaikan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terkini serta mengangkat isu global, (3) ragam aktivitas mampu menumbuhkan kelima dimensi Profil Pelajar Pancasila, (4) sajian soal-soal dengan pendekatan PISA melatih keterampilan berpikir tingkat tinggi, (5) aktivitas proyek yang berkontribusi pada tercapainya agenda pembangunan berkelanjutan PBB 2030, serta (6) sistematika penulisan yang terperinci sehingga kalian dapat memahami materi dengan mudah.

Akhir kata, penulis berharap semoga buku ini dapat memberikan kontribusi pada iklim merdeka belajar dalam proses pembelajaran di kelas yang menyenangkan dan bermakna. Penulis menantikan masukan dari pembaca untuk penyempurnaan isi buku pada masa mendatang.

Jakarta, Desember 2023

Tim Penulis

# Daftar Isi

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

**Bab I Sistem Pengukuran dalam Kerja Ilmiah ..... 1**
A. Macam-Macam Alat Ukur ..... 4
B. Besaran, Satuan, dan Dimensi ..... 6
C. Aturan Angka Penting ..... 22
D. Nilai Ketidakpastian pada Pengukuran Berulang ..... 27

**Bab II Virus dan Peranannya ..... 41**
A. Apakah Itu Virus? ..... 44
B. Bagaimana Virus Bereproduksi? ..... 47
C. Peranan Virus ..... 51
D. Cara Mencegah Penyebaran Virus ..... 56

**Bab III Struktur Atom Fakta di Balik Materi ..... 67**
A. Konsep Atom Zaman Yunani ..... 70
B. Rekonseptualisasi Atom oleh John Dalton ..... 71
C. Partikel Subatom dan Sifatnya ..... 73
D. Lambang Atom, Ion, dan Isotop ..... 81
E. Konfigurasi Elektron, Kulit Atom, dan Elektron Valensi ..... 87
F. Sistem Periodik Unsur Modern ..... 93
G. Sifat Keperiodikan Unsur ..... 97

**Bab IV Hukum Dasar Kimia di Sekitar Kita ..... 115**
A. Ciri-ciri, Jenis, dan Cara Menuliskan Reaksi Kimia ..... 117
B. Empat Hukum Dasar Kimia ..... 122
C. Hukum Dasar Kimia untuk Menyelesaikan Kasus dalam Kehidupan Sehari-Hari ..... 140

**Bab V Kimia Hijau dalam Pembangunan Berkelanjutan 2030 ..... 149**
A. Pengertian dan Pentingnya Kimia Hijau ..... 151
B. Prinsip Kimia Hijau dalam Mendukung Upaya Pelestarian Lingkungan ..... 156
C. Proses Kimia dalam Kehidupan Sehari-hari Terkait Hal-Hal yang Tidak Sesuai dengan Prinsip Kimia Hijau ..... 159
D. Menciptakan Kegiatan yang Mendukung Prinsip Kimia Hijau ..... 164

**Bab VI Keanekaragaman Makhluk Hidup, Interaksi dan Peranannya di Alam ..... 173**
A. Keanekaragaman Hayati ..... 175
B. Klasifikasi Makhluk Hidup ..... 185
C. Bakteri ..... 190
D. Fungi ..... 194
E. Makhluk Hidup dalam Ekosistem ..... 199

**Bab VII Energi Terbarukan ..... 207**
A. Urgensi Isu Kebutuhan Energi Listrik ..... 209
B. Berbagai Macam Bentuk Energi ..... 211
C. Konversi Energi ..... 214
D. Berbagai Macam Sumber Energi ..... 215
E. Sumber Energi Terbarukan dan Tak Terbarukan ..... 217
F. Dampak Eksplorasi dan Penggunaan Energi ..... 218
G. Pemanfaatan Potensi Sumber Energi Lokal sebagai Upaya Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik ..... 219

**Bab VIII Perubahan Iklim ..... 231**
A. Perubahan Iklim ..... 234
B. Gejala Perubahan Iklim ..... 234
C. Dampak Perubahan Iklim ..... 242
D. Penyebab Perubahan Iklim ..... 246
E. Upaya Mitigasi dan Adaptasi terhadap Perubahan Iklim ..... 260
F. Kerja Sama Global untuk Mengatasi Perubahan Iklim ..... 263

Glosarium ..... 275
Daftar Pustaka ..... 282
Indeks ..... 291
Profil Pelaku Perbukuan ..... 295

# Daftar Gambar


Gambar 1.1 Tangkapan layar kasus kecelakaan lalu lintas yang terjadi di Lasem, Jawa tengah. ..... 3
Gambar 1.2 Baut Roda Truk ..... 3
Gambar 1.3 Kegiatan Pengukuran dalam Kehidupan Sehari-hari ..... 4
Gambar 1.4 Macam-Macam Alat Ukur ..... 5
Gambar 1.5 Pengukuran panjang kertas menggunakan penggaris. ..... 6
Gambar 1.6 Baut dan Mur ..... 9
Gambar 1.7 Jangka Sorong ..... 10
Gambar 1.8 Pengukuran dengan Menggunakan Jangka Sorong ..... 11
Gambar 1.9 Membaca Skala Utama Jangka Sorong ..... 11
Gambar 1.10 Membaca Skala Nonius Jangka Sorong ..... 12
Gambar 1.11 Membaca Alat Ukur Jangka Sorong ..... 13
Gambar 1.12 Bagian-Bagian Mikrometer Sekrup ..... 13
Gambar 1.13 Pengukuran dengan Menggunakan Mikrometer Sekrup ..... 14
Gambar 1.14 Membaca Skala Utama Mikrometer Sekrup ..... 15
Gambar 1.15 Membaca Skala Nonius Mikrometer Sekrup ..... 15
Gambar 1.16 Membaca Alat Ukur Mikrometer Sekrup ..... 16
Gambar 1.17 Bagian-Bagian Neraca Empat Lengan ..... 17
Gambar 1.18 Membaca alat ukur neraca empat lengan ..... 18
Gambar 1.19 Perbandingan Skala Termometer Celcius, Kelvin, dan Fahrenheit ..... 19
Gambar 1.20 Macam-macam termometer berdasarkan kegunaannya: (a) termometer klinis analog, (b) termometer klinis digital, dan (c) termometer laboratorium ..... 20
Gambar 1.21 Macam-macam alat ukur volume (a) silinder ukur, (b) labu ukur, (c) piknometer, (d) pipet volumetrik ..... 21
Gambar 1.22 Macam-Macam Material Baut ..... 32
Gambar 2.1 Bentuk Virus dan Contohnya ..... 45
Gambar 2.2 Struktur Virus Bakteriofag dan Koronavirus ..... 46
Gambar 2.3 Tahapan replikasi virus terbagi atas siklus litik dan lisogenik ..... 49
Gambar 2.4 Bagan Pembentukan Insulin ..... 54
Gambar 2.5 Lima Cara Mencegah Penularan Covid-19 ..... 57
Gambar 2.6 Salah satu produk *hand sanitizer* ..... 59
Gambar 2.7 Efektivitas beberapa bahan kain terhadap partikel berukuran 0,02 mikron ..... 60
Gambar 2.8 Perbandingan kemampuan bernapas antara masker medis dan

beberapa jenis kain ..... 61
Gambar 2.9 Beragam cara isolasi mandiri guna menghindari penyebaran Covid-19 ..... 64
Gambar 2.10 Pengaruh virus onkolitik terhadap sel sehat dan sel kanker ..... 66
Gambar 3.1 Percobaan Penggaris dan Kertas ..... 69
Gambar 3.2 Percobaan Thomson ..... 73
Gambar 3.3 Model Atom Roti Kismis ..... 74
Gambar 3.4 J.J. Thomson ..... 74
Gambar 3.5 Percobaan Rutherford ..... 75
Gambar 3.6 Model Atom Rutherford untuk atom hidrogen ..... 76
Gambar 3.7 Ernest Rutherford ..... 77
Gambar 3.8 Letak Partikel Subatom ..... 78
Gambar 3.9 James Chadwick ..... 78
Gambar 3.10 Perilaku Partikel Subatom dalam Medan Listrik ..... 81
Gambar 3.11 Tabel Periodik Unsur Modern ..... 82
Gambar 3.12 Cara Menulis Lambang Atom ..... 82
Gambar 3.13 Kation $Na^+$ dan anion $F^-$ ..... 83
Gambar 3.14 Niels Bohr ..... 89
Gambar 3.15 Posisi Elektron pada Lintasan Kulit Atom ..... 90
Gambar 3.16 Konfigurasi Elektron Atom Kalsium ..... 91
Gambar 3.17 Kerangka Golongan dan Periode pada Tabel Periodik Unsur ..... 93
Gambar 3.18 Posisi Unsur Lantanida dan Aktinida ..... 95
Gambar 3.19 Posisi Unsur Semilogam ..... 95
Gambar 3.20 Posisi Unsur dalam Tabel Periodik Unsur ..... 96
Gambar 3.21 Jari-jari Atom Unsur Logam ..... 98
Gambar 3.22 Contoh Jari-jari Atom Unsur Diatomik ..... 98
Gambar 3.23 Kecenderungan Jari-Jari Atom pada Tabel Periodik Unsur ..... 99
Gambar 3.24 Energi Ionisasi Unsur-Unsur dalam Tabel Periodik ..... 101
Gambar 3.25 Nilai Afinitas Elektron (kJ/mol) Unsur Golongan Utama ..... 103
Gambar 3.26 Afinitas Elektron Unsur-Unsur dalam Tabel Periodik ..... 104
Gambar 3.27 Skala Pauling Elektronegativitas Unsur ..... 105
Gambar 3.28 Lumpur Lapindo Mengandung Logam Tanah Jarang ..... 111
Gambar 4.1 Amedeo Avogadro (1776–1856) ..... 121
Gambar 4.2 Johann Joachim Becher (1635–1682) ..... 124
Gambar 4.3 Georg Ernst Stahl (1660–1734) ..... 124
Gambar 4.4 Antoine Laviosier (1743–1794) ..... 126
Gambar 4.5 Percobaan Balon Ajaib ..... 130
Gambar 4.6 Joseph Louis Proust (1754–1826) ..... 132
Gambar 4.7 John Dalton (1766–1844) ..... 135
Gambar 4.8 Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850) ..... 137

Gambar 4.9 Laut dan Potensinya ..... 145
Gambar 5.1 Pengaturan lokalisasi industri harus menunjang kelestarian lingkungan ..... 153
Gambar 5.2 Paul Anastas ..... 156
Gambar 5.3 Bioplastik Ramah Lingkungan dari Limbah Kulit Buah- buahan. 157
Gambar 5.4 Penggunaan Kembali Limbah Plastik Sebagai Pot Tanaman ..... 157
Gambar 5.5 Dua Belas Prinsip Kimia Hijau ..... 158
Gambar 5.6 Tabel Periodik Unsur ..... 160
Gambar 5.7 Pengertian Atom, Unsur, dan Molekul ..... 160
Gambar 5.8 Bagan Penulisan Persamaan Reaksi Kimia ..... 161
Gambar 5.9 Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030 PBB ..... 164
Gambar 5.10 Biosolar-30 (B30) ..... 165
Gambar 5.11 Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia dari Tahun ke Tahun ..... 168
Gambar 5.12 Penerapan Prinsip Kimia Hijau pada Ekosistem Laut ..... 169
Gambar 5.13 Kebun Tomat di Area Pabrik Amonia ..... 171
Gambar 6.1 Contoh keanekaragaman hayati tingkat gen pada buah pisang. ... 177
Gambar 6.2 Contoh keanekaragaman hayati tingkat jenis pada buah pisang. ..... 177
Gambar 6.3 Contoh keanekaragaman hayati tingkat ekosistem ..... 178
Gambar 6.4 Contoh keanekaragaman flora dan fauna di Indonesia ..... 180
Gambar 6.5 Contoh manfaat keanekaragaman hayati bagi manusia ..... 182
Gambar 6.6 Bentuk-Bentuk Bakteri ..... 192
Gambar 6.7 Struktur Tubuh Bakteri ..... 192
Gambar 6.8 Perbedaan dinding sel bakteri gram positif dan bakteri gram negatif ..... 193
Gambar 6.9 Struktur Tubuh Jamur ..... 195
Gambar 6.10 Rantai Makanan ..... 200
Gambar 6.11 Jaring-Jaring Makanan ..... 201
Gambar 6.12 Piramida Energi ..... 201
Gambar 7.1 Lokasi Desa Plaosan, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur ..... 209
Gambar 7.2 Grafik konsumsi energi listrik Indonesia tahun 2013 sampai 2019 dan target konsumsi energi listrik tahun 2020. ..... 210
Gambar 7.3 Persentase jumlah desa yang belum terelektrifikasi di Indonesia tahun 2019. ..... 210
Gambar 7.4 Sumber Energi (a) PLTB Sidrap, (b) PLTU ..... 216
Gambar 7.5 Eksploitasi sumber energi batu bara di Kalimantan ..... 218
Gambar 7.6 Salah satu pembangkit listrik tenaga mikrohidro di Desa Plaosan, Probolinggo, Jawa Timur ..... 220
Gambar 7.7 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ..... 222
Gambar 7.8 Sepuluh negara berperingkat terbaik penghasil energi listrik terbesar dari sumber panas bumi ..... 226

Gambar 7.9 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Dieng ..... 227
Gambar 7.10 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi ..... 227
Gambar 8.1 Bencana Akibat Perubahan Iklim (a) Banjir di Kabupaten Lamandau, Kalimantan Tengah, (b) Kekeringan di Kabupaten Bekasi ..... 233
Gambar 8.2 Grafik Rata-Rata Suhu Permukaan Bumi ..... 235
Gambar 8.3 Grafik Rata-Rata Suhu Permukaan Laut Global, 1880–2020 ..... 236
Gambar 8.4 Grafik Batas Minimum Es Laut Arktik Tahunan ..... 237
Gambar 8.5 Perubahan Luasan Arktik 1978–2016 ..... 238
Gambar 8.6 Grafik Variasi Level Permukaan Laut ..... 239
Gambar 8.7 Peristiwa El Niño di Indonesia ..... 240
Gambar 8.8 Peristiwa La Niña di Indonesia ..... 241
Gambar 8.9 Kondisi netral ..... 241
Gambar 8.10 Kebakaran hutan di Kalimantan akibat suhu panas berkepanjangan. ..... 243
Gambar 8.11 Makhluk Hidup yang Bergantung pada Suhu Permukaan Air Laut: (a) penyu, (b) udang Krill, (c) Terumbu Karang ..... 244
Gambar 8.12 Kadar peningkatan $CO_2$ ..... 246
Gambar 8.13 Rumah Kaca ..... 248
Gambar 8.14 Efek rumah kaca ..... 249
Gambar 8.15 Pendingin ruangan atau AC menggunakan freon ..... 251
Gambar 8.16 Aktivitas Kendaraan di Kota Besar ..... 253
Gambar 8.17 Limbah sampah plastik ..... 256
Gambar 8.18 Reaksi kimia biodegradasi plastik PET ..... 257
Gambar 8.19 Diagram produksi bahan plastik dari minyak bumi dan gas alam ..... 257
Gambar 8.20 Sampah dapur ..... 258
Gambar 8.21 Restorasi Hutan ..... 260
Gambar 8.22 Rak Buku dan Pot Bunga dari Ecobrick ..... 262
Gambar 8.23 Tanaman anggur sebagai upaya adaptasi terhadap perubahan iklim. ..... 263
Gambar 8.24 Anomali suhu udara di Indonesia sepanjang periode data pengamatan sejak 1981–2021. ..... 266
Gambar 8.25 Grafik peristiwa banjir dari tahun 2008 hingga Januari 2021 ..... 267
Gambar 8.26 Kontributor utama penyebab perubahan suhu di atmosfer ..... 271

# Daftar Tabel


Tabel 1.1 Besaran, Satuan SI, dan Dimensi dari Besaran-Besaran Pokok.....7
Tabel 1.2 Besaran, Satuan SI, dan Dimensi dari Beberapa Besaran Turunan .....7
Tabel 1.3 Berbagai Awalan Satuan pada Sistem Metrik dalam SI .....8
Tabel 1.4 Angka Penting dan Angka Tidak Penting ..... 23
Tabel 3.1 Sifat Partikel Subatom..... 80
Tabel 3.2 Lambang Atom dan Ion ..... 84
Tabel 3.3 Jumlah Proton, Elektron, dan Neutron Isotop Hidrogen..... 85
Tabel 3.4 Isotop Unsur Karbon di Alam ..... 86
Tabel 3.5 Konfigurasi Elektron Beberapa Unsur..... 92
Tabel 3.6 Posisi Unsur dalam Tabel Periodik Unsur ..... 97
Tabel 3.7 Jari-Jari Atom Unsur Periode Ketiga dan Unsur Golongan VA..... 99
Tabel 3.8 Data Energi Ionisasi Pertama Dua Puluh Unsur Pertama..... 101
Tabel 3.9 Kelektronegatifan Unsur-Unsur Periode Ketiga dan Golongan VIA ..... 106
Tabel 3.10 Perbedaan Keelektronegatifan dan Afinitas Elektron ..... 107
Tabel 3.11 Kelimpahan Isotop Nikel di Alam ..... 113
Tabel 4.1 Pengamatan Reaksi Kimia di Sekitar Kita ..... 118
Tabel 4.2 Hasil Percobaan Reaksi Pembakaran Logam ..... 123
Tabel 4.3 Perbandingan Nikel terhadap Oksigen dalam Batuan Laterit..... 140
Tabel 4.4 Perbandingan Kobalt terhadap Oksigen dalam Batuan Laterit..... 140
Tabel 5.1 Permasalahan dan Solusi Berdasarkan Prinsip Kimia Hijau..... 159
Tabel 5.2 Identifikasi Proses Kimia dalam Kehidupan Sehari-hari yang Tidak Mendukung Prinsip Kimia Hijau ..... 163
Tabel 5.3 Solusi Kegiatan yang Mendukung Prinsip Kimia Hijau..... 166
Tabel 8.1 Jenis-jenis Freon ..... 251

# Petunjuk Penggunaan Buku

Pada hakikatnya, Ilmu Pengetahuan Alam yang mencakup Fisika, Kimia, dan Biologi dapat diajarkan terpisah maupun terpadu pada fase E. Materi terpadu disajikan pada Bab 8 yang dilaksanakan dengan *unit of inquiry*, yaitu sebuah proyek untuk menyelesaikan sebuah masalah atau isu lingkungan dari berbagai sudut pandang, baik Fisika, Kimia, maupun Biologi.

Buku ini dirancang dengan berbagai aktivitas belajar yang mengembangkan keterampilan proses untuk mengasah dimensi Profil Pelajar Pancasila, yaitu beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan berakhlak mulia, gotong royong, serta bernalar kritis, kreatif, dan mandiri. Keterampilan berpikir tingkat tinggi juga dilatih melalui aktivitas yang memecahkan masalah kontekstual dalam kehidupan sehari-hari sehingga kalian akan terpacu untuk berkontribusi dalam agenda Pembangunan Berkelanjutan PBB 2030 sesuai kapasitasnya.

Buku ini terdiri atas delapan bab utama dengan bagian-bagian sebagai berikut.

**Kover Bab**

Berisi:

- gambar yang berkaitan dengan materi pada bab tersebut,
- pertanyaan pemantik yang mengajak berpikir dan menimbulkan rasa ingin tahu,
- tujuan pembelajaran,
- kata kunci yang menjadi fokus pada bab tersebut, dan
- peta konsep, yaitu alur materi yang akan dipelajari.



## Tujuan Pembelajaran

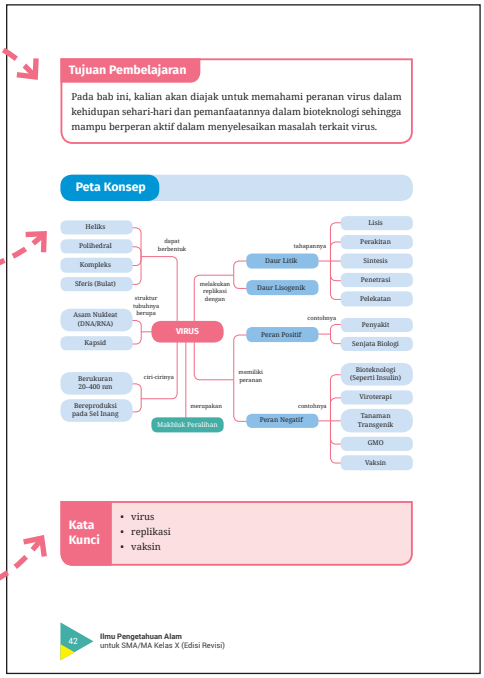
Berisi tujuan yang diharapkan kalian capai dalam mempelajari materi suatu bab.

## Peta Konsep

Berisi pemetaan secara menyeluruh sebagai gambaran isi materi yang akan dipelajari dalam suatu bab.

## Kata Kunci

Berisi kata-kata penting yang menjadi kunci dari materi yang akan dipelajari dalam suatu bab.





Pernahkah kalian mengalami mati listrik selama berjam-jam di rumah? Bagaimana rasanya? Tentu kalian merasa terganggu, terutama jika kalian sedang menggunakan alat elektronik. Masyarakat Desa Plaosan, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur pernah mengalami kehidupan sulit mengakses energi listrik selama bertahun-tahun.

**Gambar 7.1** Lokasi Desa Plaosan, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur
*Sumber: Google Earth/earth.google.com (2023)*

Desa Plaosan berada di kaki Gunung Argopuro. Terdapat 955 kepala keluarga yang tersebar di dua belas dusun di Desa Plaosan. Akses menuju Desa Plaosan cukup sulit karena daerahnya berbukit-bukit, bahkan salah satu dusun, yaitu Dusun Sosokan, tidak dapat diakses oleh kendaraan bermotor.

Bagaimana solusi agar masyarakat di daerah terpencil tetap dapat menikmati energi listrik? Bagaimana sumber energi alternatif di lingkungan sekitar tempat tinggal dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan atau meminimalisir penggunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari? Kalian akan menelusuri lebih lanjut dalam bab ini.

### A. Urgensi Isu Kebutuhan Energi Listrik

Pada era teknologi industri dan digital ini, energi telah menjadi kebutuhan dasar untuk kelangsungan hidup manusia. Hal ini terjadi karena manusia sudah memiliki ketergantungan terhadap teknologi yang mempermudah pekerjaannya. Dampaknya adalah kebutuhan akan energi listrik terus meningkat. Hal tersebut terlihat dari data yang ditampilkan pada Gambar 7.2.

Bab VII Energi Terbarukan 209

## Pengantar Bab

Pada bagian awal setiap bab ditampilkan kejadian-kejadian dalam kehidupan sehari-hari yang berkaitan dengan materi pada bab tersebut.

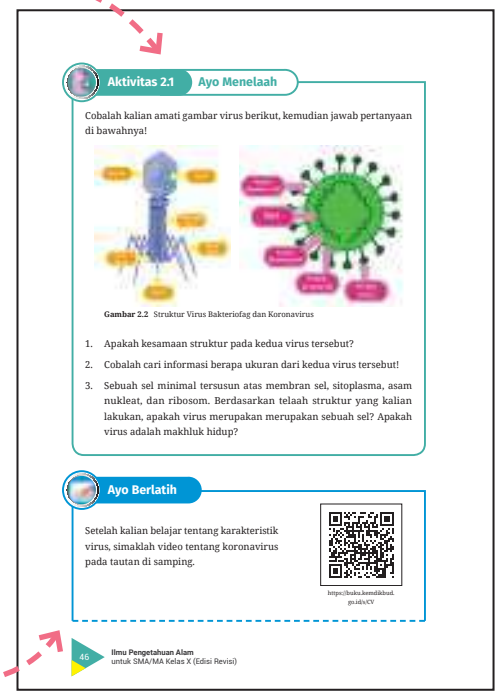
Di akhir pengantar bab, diselipkan pertanyaan untuk memancing kalian untuk berpikir secara kreatif.

## Aktivitas

Selain materi, dalam buku ini ini juga disajikan berbagai aktivitas. Aktivitas ini mengajak kalian untuk menelaah, mengamati, mencari tahu, mengidentifikasi, menghitung, berpikir kritis, dan lain-lain. Bentuk aktivitasnya antara lain mencari dan menelaah informasi dari artikel, melakukan pengamatan sederhana di lingkungan sekitar, menyimak video, dan melakukan praktikum sederhana.

## Ayo Berlatih

Pada fitur ini ditampilkan beragam jenis pertanyaan yang berkaitan dengan materi pada akhir subbab sebagai sarana latihan kalian dalam mengerjakan soal.



**Aktivitas 2.1** Ayo Menelaah

Cobalah kalian amati gambar virus berikut, kemudian jawab pertanyaan di bawahnya!



**Gambar 2.2** Struktur Virus Bakteriofag dan Koronavirus

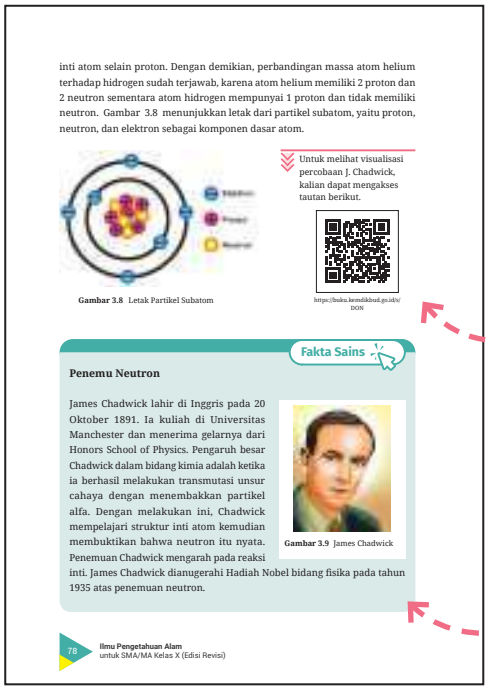
1. Apakah kesamaan struktur pada kedua virus tersebut?
2. Cobalah cari informasi berapa ukuran dari kedua virus tersebut!
3. Sebuah sel minimal tersusun atas membran sel, sitoplasma, asam nukleat, dan ribosom. Berdasarkan telaah struktur yang kalian lakukan, apakah virus merupakan merupakan sebuah sel? Apakah virus adalah makhluk hidup?

**Ayo Berlatih**

Setelah kalian belajar tentang karakteristik virus, simaklah video tentang koronavirus pada tautan di samping.

https://buku.kemdikbud.go.id/x/CV





inti atom selain proton. Dengan demikian, perbandingan massa atom helium terhadap hidrogen sudah terjawab, karena atom helium memiliki 2 proton dan 2 neutron sementara atom hidrogen mempunyai 1 proton dan tidak memiliki neutron. Gambar 3.8 menunjukkan letak dari partikel subatom, yaitu proton, neutron, dan elektron sebagai komponen dasar atom.

**Gambar 3.8** Letak Partikel Subatom

Untuk melihat visualisasi percobaan J. Chadwick, kalian dapat mengakses tautan berikut.

https://buku.kemdikbud.go.id/x/DON

**Fakta Sains**

**Penemu Neutron**

James Chadwick lahir di Inggris pada 20 Oktober 1891. Ia kuliah di Universitas Manchester dan menerima gelarnya dari Honors School of Physics. Pengaruh besar Chadwick dalam bidang kimia adalah ketika ia berhasil melakukan transmutasi unsur cahaya dengan menembakkan partikel alfa. Dengan melakukan ini, Chadwick mempelajari struktur inti atom kemudian membuktikan bahwa neutron itu nyata. Penemuan Chadwick mengarah pada reaksi inti. James Chadwick dianugerahi Hadiah Nobel bidang fisika pada tahun 1935 atas penemuan neutron.

**Gambar 3.9** James Chadwick



## Tautan Kode QR

Berisikan tautan video atau artikel yang mendukung pembelajaran materi tertentu sehingga kalian dapat menambah wawasan tidak hanya dari buku.

## Fakta Sains

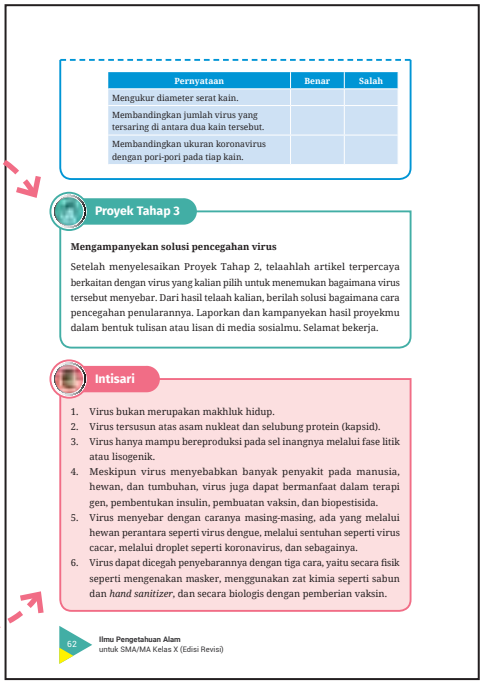
Informasi tambahan yang memperkuat materi yang sedang dibahas, misalnya biografi tokoh penemu, pencetus kimia hijau, dan sejarah munculnya suatu teori.

## Proyek

Pada kegiatan ini kalian diajak menemukan masalah hingga memberikan solusi permasalahan melalui sebuah proyek yang berkaitan dengan materi suatu bab.

## Intisari

Pada akhir bab disajikan ringkasan tentang konsep kunci sebagai pengingat materi yang telah kalian pelajari.



| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Mengukur diameter serat kain. | | |
| Membandingkan jumlah virus yang tersaring di antara dua kain tersebut. | | |
| Membandingkan ukuran koronavirus dengan pori-pori pada tiap kain. | | |

**Proyek Tahap 3**

**Mengampanyekan solusi pencegahan virus**

Setelah menyelesaikan Proyek Tahap 2, telaahlah artikel terpercaya berkaitan dengan virus yang kalian pilih untuk menemukan bagaimana virus tersebut menyebar. Dari hasil telaah kalian, berilah solusi bagaimana cara pencegahan penularannya. Laporkan dan kampanyekan hasil proyekmu dalam bentuk tulisan atau lisan di media sosialmu. Selamat bekerja.

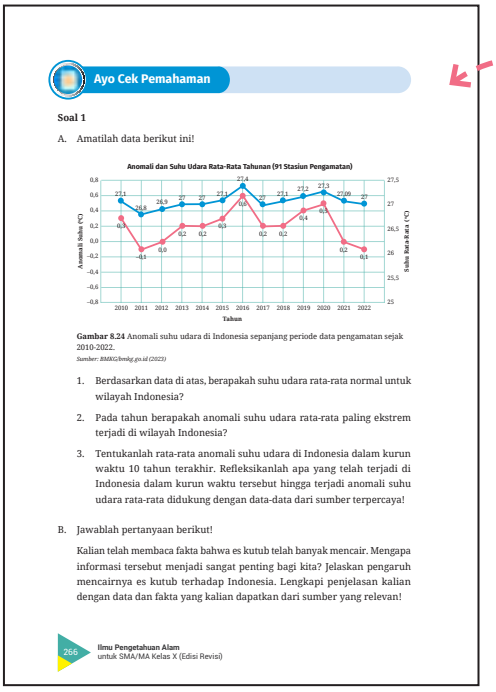
**Intisari**

1. Virus bukan merupakan makhluk hidup.
2. Virus tersusun atas asam nukleat dan selubung protein (kapsid).
3. Virus hanya mampu bereproduksi pada sel inangnya melalui fase litik atau lisogenik.
4. Meskipun virus menyebabkan banyak penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan, virus juga dapat bermanfaat dalam terapi gen, pembentukan insulin, pembuatan vaksin, dan biopestisida.
5. Virus menyebar dengan caranya masing-masing, ada yang melalui hewan perantara seperti virus dengue, melalui sentuhan seperti virus cacar, melalui droplet seperti koronavirus, dan sebagainya.
6. Virus dapat dicegah penyebarannya dengan tiga cara, yaitu secara fisik seperti mengenakan masker, menggunakan zat kimia seperti sabun dan *hand sanitizer*, dan secara biologis dengan pemberian vaksin.



## Ayo Cek Pemahaman

Pada akhir bab, kalian akan disajikan berbagai pertanyaan tentang materi pada bab tersebut. Pertanyaan-pertanyaan yang dimunculkan dalam berbagai bentuk dan tidak hanya untuk mengases pengetahuan tetapi juga keterampilan proses kalian serta melatih kalian untuk terbiasa dengan soal AKM.



**Ayo Cek Pemahaman**

**Soal 1**

A. Amatilah data berikut ini!




**Gambar 8.24** Anomali suhu udara di Indonesia sepanjang periode data pengamatan sejak 2010-2022.
*Sumber: BMKG.bmkg.go.id (2023)*

1. Berdasarkan data di atas, berapakah suhu udara rata-rata normal untuk wilayah Indonesia?
2. Pada tahun berapakah anomali suhu udara rata-rata paling ekstrem terjadi di wilayah Indonesia?
3. Tentukanlah rata-rata anomali suhu udara di Indonesia dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Refleksikanlah apa yang telah terjadi di Indonesia dalam kurun waktu tersebut hingga terjadi anomali suhu udara rata-rata didukung dengan data-data dari sumber terpercaya!

B. Jawablah pertanyaan berikut!

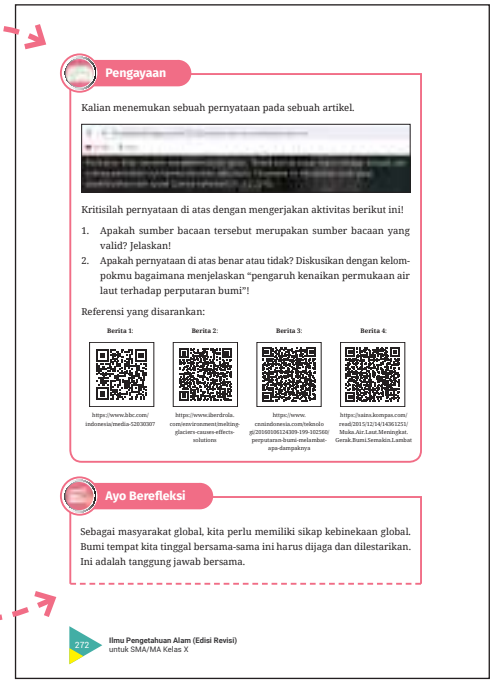
Kalian telah membaca fakta bahwa es kutub telah banyak mencair. Mengapa informasi tersebut menjadi sangat penting bagi kita? Jelaskan pengaruh mencairnya es kutub terhadap Indonesia. Lengkapi penjelasan kalian dengan data dan fakta yang kalian dapatkan dari sumber yang relevan!

**Pengayaan**

Bagi siswa yang memiliki kemampuan memahami yang lebih cepat atau di atas rata-rata disajikan ulasan materi yang lebih mendalam.

**Ayo Berefleksi**

Pada kegiatan ini kalian diajak untuk berpikir secara mendalam terkait materi yang sudah dipelajari dan mengidentifikasi kekurangannya, manfaat dan sikap kalian setelah mempelajari materi tersebut.



Pengayaan

Kalian menemukan sebuah pernyataan pada sebuah artikel.

Kritisilah pernyataan di atas dengan mengerjakan aktivitas berikut ini!

1. Apakah sumber bacaan tersebut merupakan sumber bacaan yang valid? Jelaskan!
2. Apakah pernyataan di atas benar atau tidak? Diskusikan dengan kelompokmu bagaimana menjelaskan "pengaruh kenaikan permukaan air laut terhadap perputaran bumi"!

Referensi yang disarankan:

Berita 1: https://www.bbc.com/indonesia/media-52030307

Berita 2: https://www.iberdrola.com/environment/melting-glaciers-causes-effects-solutions

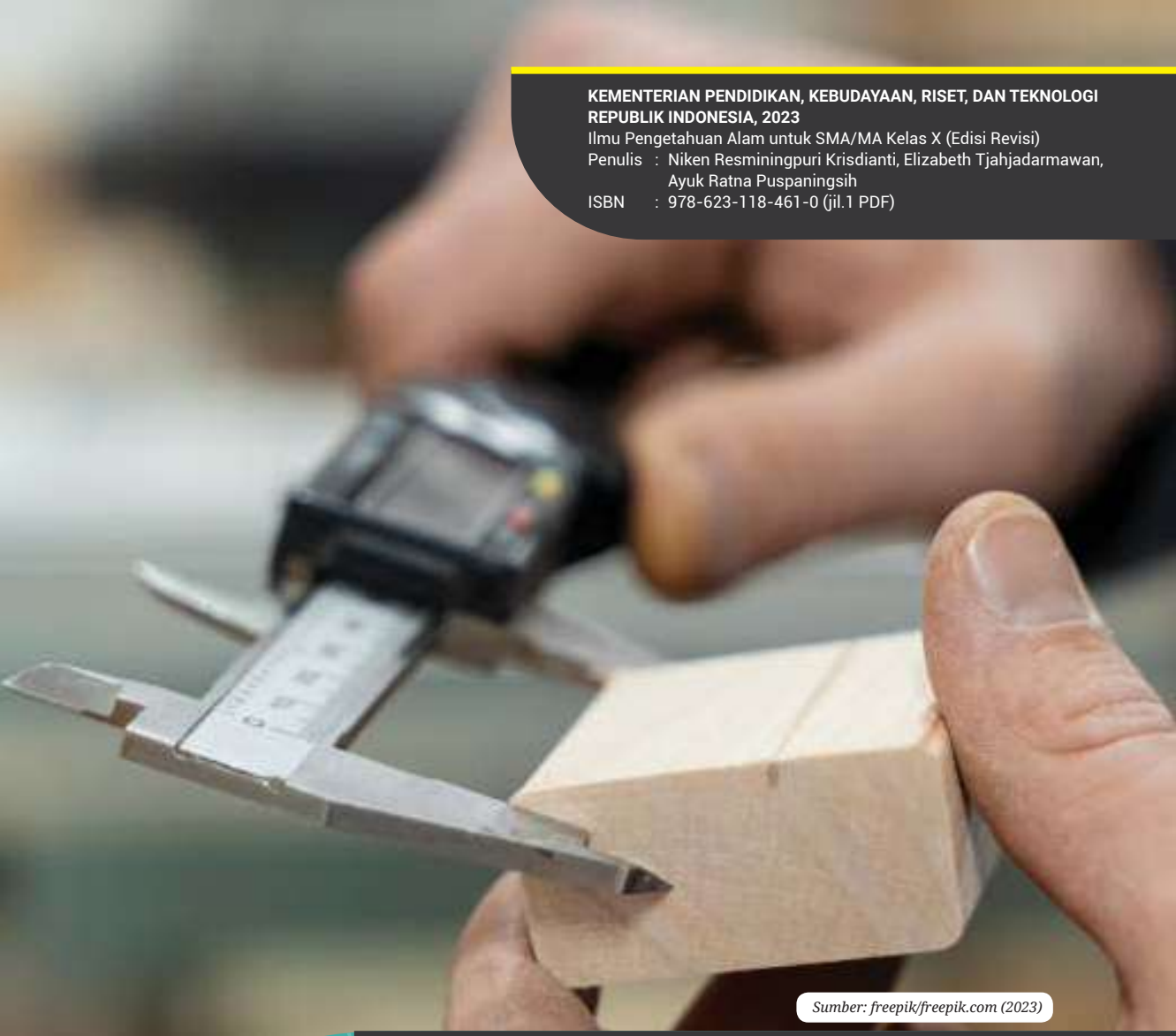
Berita 3: https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20160106124309-199-102560/perputaran-bumi-melambat-apa-dampaknya

Berita 4: https://sains.kompas.com/read/2015/12/14/14361251/Muka.Air.Laut.Meningkat.Gerak.Bumi.Semakin.Lambat

Ayo Berefleksi

Sebagai masyarakat global, kita perlu memiliki sikap kebinekaan global. Bumi tempat kita tinggal bersama-sama ini harus dijaga dan dilestarikan. Ini adalah tanggung jawab bersama.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI**
**REPUBLIK INDONESIA, 2023**
Ilmu Pengetahuan Alam untuk SMA/MA Kelas X (Edisi Revisi)
Penulis : Niken Resminingpuri Krisdianti, Elizabeth Tjahjadarmawan, Ayuk Ratna Puspaningsih
ISBN : 978-623-118-461-0 (jil.1 PDF)



*Sumber: freepik/freepik.com (2023)*

# Bab I

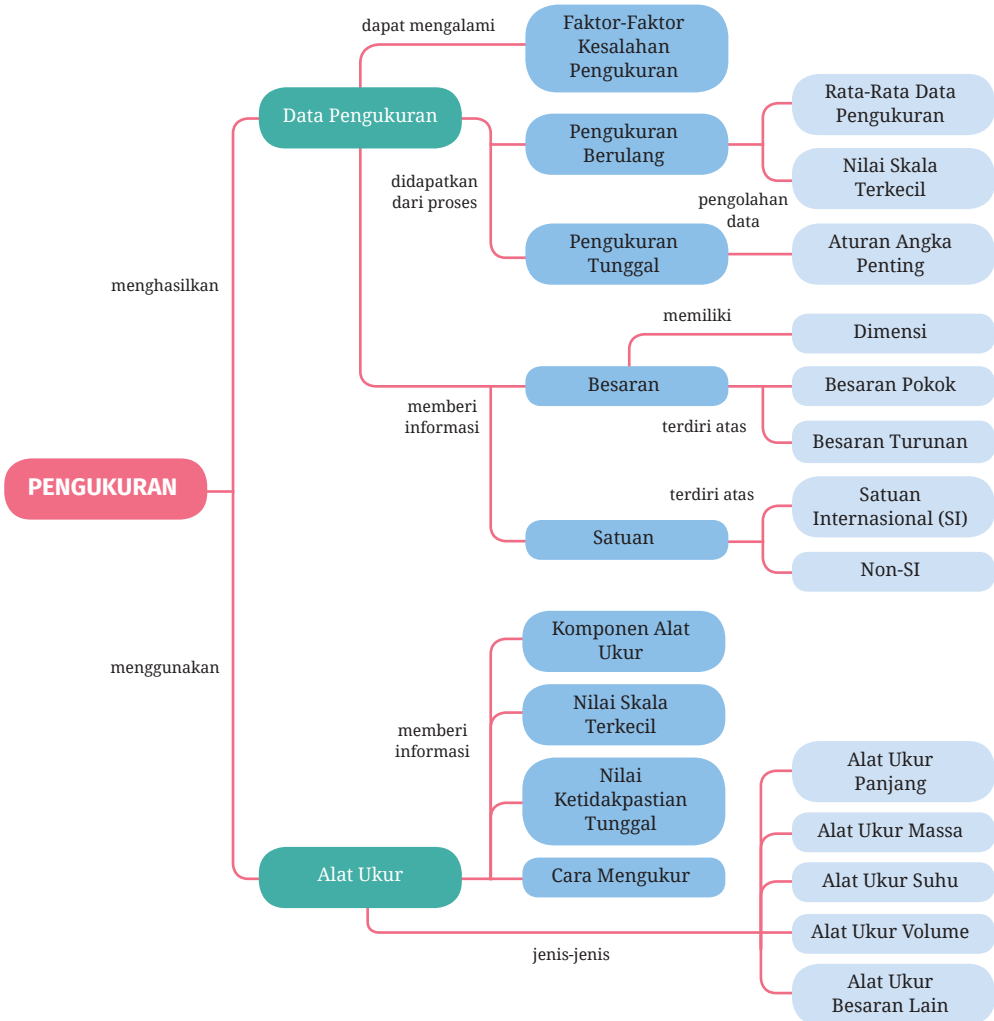
# Sistem Pengukuran dalam Kerja Ilmiah

■ Berbagai macam alat ukur biasa dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Mengapa pengetahuan tentang alat ukur penting untuk dikuasai?

## Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat mengklasifikasikan macam-macam alat ukur berdasarkan besaran yang diukur, mengukur dengan menggunakan alat ukur yang sesuai, melakukan pengolahan data hasil pengukuran dengan menggunakan aturan angka penting, menuliskan hasil pengukuran dengan menggunakan aturan penulisan notasi ilmiah dan satuan yang sesuai, menentukan nilai ketidakpastian pada pengukuran berulang, serta merancang percobaan untuk menyelidiki suatu kasus terkait pengukuran.

## Peta Konsep



**Kata Kunci**

- alat ukur
- angka penting
- besaran
- ketidakpastian pengukuran
- satuan

Diberitakan di kompas.com, 27 Maret 2021, dengan judul berita "Ban Truk yang Lepas Tiba-tiba Biasanya akibat Baut Longgar", menyebutkan truk bermuatan kayu gelondongan mengalami insiden roda lepas di wilayah Lasem, Jawa Tengah (Gambar 1.1). Roda truk dapat terlepas akibat baut dan mur pada pelek roda longgar, atau dapat disebabkan juga karena baut pelek patah. Kasus patah baut roda truk seperti ini telah banyak terjadi di Indonesia. Hal ini dapat disebabkan oleh banyak faktor, seperti muatan truk melebihi kapasitas maksimum, ukuran mur dan baut yang tidak sesuai, dan penggunaan baut dengan material bahan yang tidak sesuai.



**Gambar 1.1** Tangkapan layar kasus kecelakaan lalu lintas yang terjadi di Lasem, Jawa tengah.

*Sumber: Zacky Wahyudhi/otomotif.kompas.com (2021)*



**Gambar 1.2** Baut Roda Truk

*Sumber: Logga Wiggler/pixabay.com (2011)*

Kritisilah kejadian patah baut roda truk di atas. Bagaimana cara memastikan ukuran baut sudah sesuai dengan murnya? Bagaimana cara memastikan material bahan mur dan baut sudah benar? Bagaimana pengetahuan mengenai pengukuran dapat mencegah kejadian tersebut terulang kembali? Semua jawaban ini dapat kalian ketahui dengan menelusuri bab ini.

## A. Macam-Macam Alat Ukur

Coba kalian amati Gambar 1.3. Tentu kalian tidak asing dengan aktivitas tersebut, bukan? Apa pun bidang pekerjaannya, aktivitas yang dilakukan masyarakat dalam kehidupan sehari-hari tidak lepas dari kegiatan pengukuran. Oleh karena itu, penting bagi kalian untuk dapat memahami tentang prinsip-prinsip pengukuran.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 1.3** Kegiatan Pengukuran dalam Kehidupan Sehari-hari

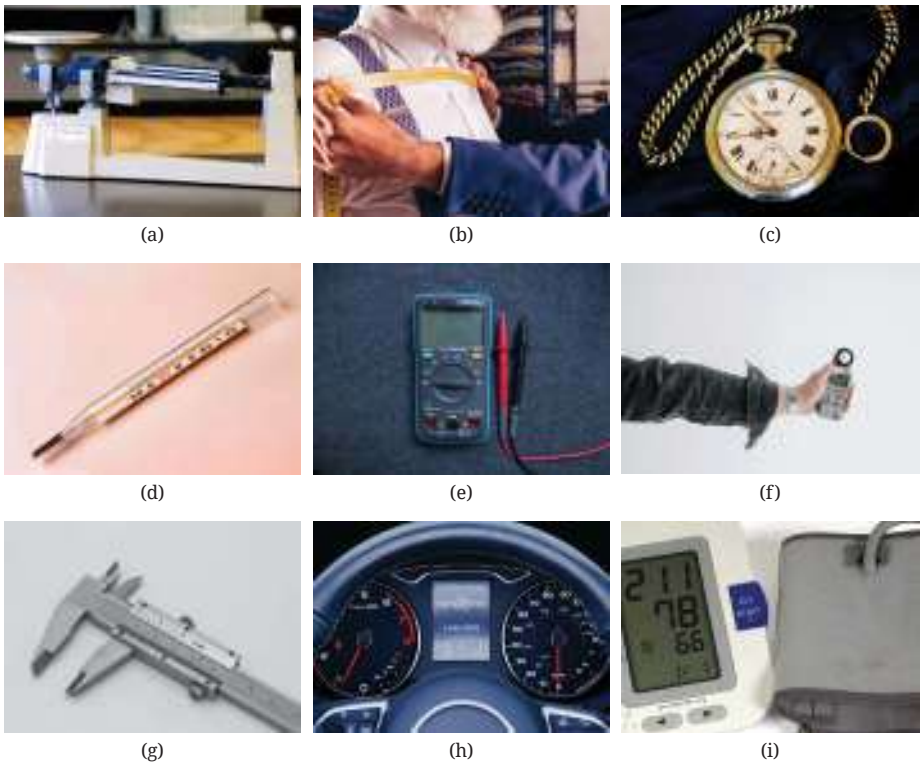
*Sumber: (a) Andi Sahrial/dinkes.surabaya.go.id (2017) (b) Kukuh Kurniawan/tribunjatim.com (2018) (c) Ono Kosuki/pexels.com (2020)*

Tentu kalian pernah melakukan pengukuran, bukan? Pahamkah kalian, apa itu pengukuran? Ketika kalian sedang mengukur suatu benda yang ukurannya tidak diketahui dengan menggunakan alat ukur, artinya kalian sedang membandingkan ukuran suatu benda yang belum diketahui ukurannya dengan alat yang dianggap sebagai ukuran standar.

Terdapat banyak sekali alat ukur yang dapat kalian jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan alat ukur tersebut tergantung pada apa yang ingin diukur. Seberapa luas wawasan kalian mengenai alat ukur dan penggunaannya? Mari uji wawasan kalian dengan Aktivitas 1.1.

## Aktivitas 1.1 Ayo Mengamati

Coba kalian perhatikan Gambar 1.4.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

(g) (h) (i)

**Gambar 1.4** Macam-Macam Alat Ukur

*Sumber: (a) Charlote Johnson/sciencing.com (2017), (b) freepik/freepik.com, (c) pixabay/pexels.com (2016), (d) Adriano Gadini/pixabay.com (2015), (e) Nekhil R/unsplash.com (2021), (f) Tima Miroshnichenko/ pexels.com, (g) Steve Buissinne (Stevepb)/pixabay.com (2014), (h) Mike Bird/pexels.com (2018), (i) Dmitriy (ds_30)/pixabay.com (2020)*

Isilah tabel berikut ini sesuai dengan pengetahuan kalian!

| No. | Nama Alat Ukur | Penggunaan dalam Kehidupan Sehari-hari |
|---|---|---|
| 1. | | |
| 2. | | |
| 3. | | |
| 4. | | |
| .... | | |

## B. Besaran, Satuan, dan Dimensi

Tentu kalian sudah terbiasa melakukan pengukuran dengan menggunakan penggaris, bukan? Bacalah hasil pengukuran pada ilustrasi di samping. Berapakah panjang kertas tersebut? Sebutkan dua komponen dari hasil pengukuran ini! Berikut ini merupakan ulasan mengenai komponen hasil pengukuran.



**Gambar 1.5** Pengukuran panjang kertas menggunakan penggaris.

### 1. Besaran

"Besar" yang didapatkan dari hasil pengukuran berkaitan dengan suatu besaran. Pada Gambar 1.5, sesuatu yang diukur itu adalah panjang. Besaran merupakan sesuatu yang akan diukur. Besaran terdiri atas besaran pokok dan besaran turunan. Besaran pokok merupakan besaran dasar yang satuannya sudah ditetapkan. Besaran turunan merupakan besaran yang satuannya tersusun dari beberapa satuan besaran pokok.

### 2. Satuan

Satuan merupakan ukuran yang menjadi acuan dari suatu besaran. Terdapat beberapa sistem satuan yang digunakan di dunia, yaitu sistem FPS *(feet, pound, second*), CGS (sentimeter, gram, sekon), dan MKS (meter, kilogram, sekon*)*. Beberapa negara memiliki kebiasaannya masing-masing dalam penggunaan sistem satuan. Oleh karena itu, masyarakat ilmiah bersama-sama membuat kesepakatan tentang satu sistem satuan baku yang digunakan secara universal. Satuan tersebut adalah satuan internasional, dalam bahasa aslinya *Systeme International D' Unites*, atau disingkat SI. Kalian dapat melihat beberapa contoh satuan SI dari besaran pokok pada Tabel 1.1 dan besaran turunan pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.1** Besaran, Satuan SI, dan Dimensi dari Besaran-Besaran Pokok

| No. | Nama Besaran | Lambang Besaran | Satuan SI | Dimensi |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Panjang | $l$ | meter (m) | [L] |
| 2. | Massa | $m$ | kilogram (kg) | [M] |
| 3. | Waktu | $t$ | sekon (s) | [T] |
| 4. | Kuat arus listrik | $i$ | ampere (A) | [I] |
| 5. | Suhu mutlak | $T$ | kelvin (K) | [θ] |
| 6. | Intensitas cahaya | $I$ | candela (Cd) | [J] |
| 7. | Jumlah zat | $n$ | mol (mol) | [N] |

**Tabel 1.2** Besaran, Satuan SI, dan Dimensi dari Beberapa Besaran Turunan

| No. | Nama Besaran | Lambang Besaran dan Rumusnya | Satuan SI | Dimensi |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Luas | $A = p \times l$ | $m^2$ | $[L]^2$ |
| 2. | Volume | $V = p \times l \times t$ | $m^3$ | $[L]^3$ |
| 3. | Massa jenis | $\rho = \frac{m}{V}$ | $kg/m^3$ | $[M][L]^{-3}$ |
| 4. | Kecepatan | $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ | m/s | $[L][T]^{-1}$ |
| 5. | Percepatan | $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ | $m/s^2$ | $[L][T]^{-2}$ |
| 6. | Gaya | $F = m \times a$ | newton (N) | $[M][L][T]^{-2}$ |
| 7. | Usaha | $W = F \times \Delta s$ | joule (J) | $[M][L]^2[T]^{-2}$ |
| 8. | Daya | $P = \frac{W}{t}$ | watt (W) | $[M][L]^2[T]^{-3}$ |

Fisika mempelajari objek dengan berbagai ukuran, mulai dari benda berukuran sangat kecil hingga sangat besar. Tidak hanya itu, dasar pemahaman tentang pengukuran juga bermanfaat untuk mengidentifikasi ciri fisis suatu

objek di bidang pengetahuan lainnya. Misalnya pada bidang kimia, elektron merupakan salah satu penyusun atom. Dalam keadaan diam, elektron memiliki massa yang sangat kecil, yaitu sebesar 0,00000000000000000000000000000911 kg. Untuk memudahkan penulisan, nilai massa elektron diam dapat dituliskan dalam bentuk notasi ilmiah, yaitu $9{,}11 \times 10^{-31}$ kg. Notasi ilmiah merupakan cara penulisan angka berupa bilangan sepuluh berpangkat untuk mengakomodasi penulisan angka yang sangat kecil dan angka yang sangat besar. Contoh lainnya pada bidang biologi, virus Covid-19 berdiameter sangat kecil, yaitu berkisar 0,1 mikrometer. Satu mikrometer setara dengan 1/1.000.000 meter. Mikro, pada satuan ukuran virus Covid-19, merupakan salah satu contoh awalan satuan. Awalan satuan merupakan prefiks (awalan) yang bermakna sebagai pangkat *n* dari sepuluh satuan tertentu.

**Tabel 1.3** Berbagai Awalan Satuan pada Sistem Metrik dalam SI

| Kelipatan | Awalan Satuan | Singkatan Awalan Satuan | Kelipatan | Awalan Satuan | Singkatan Awalan Satuan |
|---|---|---|---|---|---|
| $10^{1}$ | deka | da | $10^{-1}$ | desi | d |
| $10^{2}$ | hekto | ha | $10^{-2}$ | senti | c |
| $10^{3}$ | kilo | k | $10^{-3}$ | mili | m |
| $10^{6}$ | mega | M | $10^{-6}$ | mikro | μ |
| $10^{9}$ | giga | G | $10^{-9}$ | nano | n |
| $10^{12}$ | tera | T | $10^{-12}$ | piko | p |
| $10^{15}$ | peta | P | $10^{-15}$ | femto | f |
| $10^{18}$ | eksa | E | $10^{-18}$ | atto | a |
| $10^{21}$ | zetta | Z | $10^{-21}$ | zepto | z |
| $10^{24}$ | yotta | Y | $10^{-24}$ | yocto | y |

## 3. Dimensi

Dimensi merupakan cara suatu besaran turunan disusun berdasarkan besaran pokoknya. Suatu besaran turunan dapat dinyatakan dalam susunan beberapa besaran pokok yang dapat diketahui dengan melakukan analisis dimensi. Dimensi dari besaran pokok berupa lambang yang ditulis dengan kurung siku dan huruf kapital tertentu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Bagaimana pengetahuan mengenai konsep besaran, satuan, dan dimensi ini digunakan? Mari kerjakan Aktivitas 1.2.

## Aktivitas 1.2 Ayo Identifikasi

1. Kalian sudah mendapatkan pengetahuan mengenai besaran, satuan, dan dimensi. Perhatikan kembali Gambar 1.4, kemudian isilah tabel berikut ini!

| No. | Nama Alat Ukur | Besaran yang Diukur | Jenis Besaran* | Satuan pada Alat | Satuan dalam SI | Dimensi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | | | | | | |
| 2. | | | | | | |
| 3. | | | | | | |
| 4. | | | | | | |
| .... | | | | | | |

* Isilah dengan besaran pokok atau besaran turunan.

2. Perhatikanlah Gambar 1.3(a) dan (b). Alat ukur pada kedua gambar tersebut mengukur besaran yang sama. Lihat pula tabel pada soal nomor 1, terdapat alat ukur yang memiliki dimensi yang sama. Jelaskan pendapatmu, mengapa harus ada kedua alat ukur yang berbeda untuk besaran yang sama?

Baut dan mur berfungsi untuk menyatukan dua komponen alat secara tidak permanen, sehingga ketika dua komponen alat tersebut perlu dipisahkan maka dapat mudah dipisahkan tanpa mengalami kerusakan. Biasanya sebelum dipasangkan, baut dan mur ini diukur terlebih dahulu untuk memastikan ukurannya sesuai dengan komponen-komponen alat agar komponen alat tidak mengalami kerusakan saat digunakan.



**Gambar 1.6** Baut dan Mur
*Sumber: Amol Sharma (CompileIdeas)/pixabay.com*

(2022)Alat ukur apa yang dapat digunakan untuk mengukur besaran-besaran fisis baut dan mur? Bagaimana cara mengukurnya? Mari telusuri bersama pada Aktivitas 1.3.

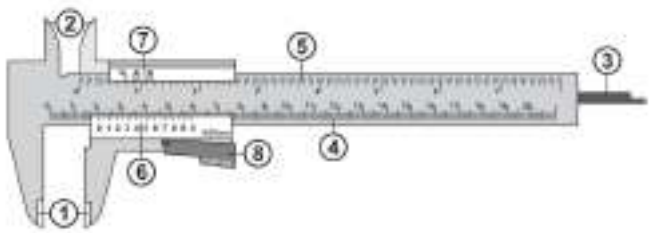
## Aktivitas 1.3 Ayo Cari Tahu

Untuk memilih alat ukur yang digunakan dalam kegiatan pengukuran, kalian perlu mempertimbangkan besaran apa yang diukur. Pada kasus ini, kalian harus memilih alat ukur yang cocok untuk mengukur besaran-besaran baut. Untuk itu, kalian perlu mengetahui cara mengukur menggunakan alat-alat ukur berikut.

### 1. Jangka Sorong

Carilah informasi mengenai hal-hal berikut.

**a. Bagian-bagian jangka sorong**




**Gambar 1.7** Jangka Sorong
*Sumber: Wahyu Noveriyanto/Kemendikbudristek (2021)*

Tuliskanlah nama bagian-bagian jangka sorong beserta fungsinya!

**b. Nilai skala terkecil pada alat ukur**

Perhatikan kembali Gambar 1.7. Pada alat ukur jangka sorong terdapat dua skala. Skala yang letaknya di atas (nomor 4) disebut skala utama. Skala utama merupakan skala yang bernilai cm pada alat ukur tersebut. Sementara skala yang letaknya di bawah (nomor 6) disebut skala nonius. Skala nonius merupakan skala mm.

Amatilah jangka sorong pada Gambar 1.7, kemudian tentukanlah nilai skala terkecil dari skala utama dan skala nonius!

**c. Nilai ketidakpastian untuk sekali pengukuran**

Setiap pengukuran selalu ada kemungkinan terjadinya ketidaktelitian. Oleh karena itu, terdapat nilai yang menyatakan kemungkinan *error* dari kegiatan pengukuran, yaitu nilai ketidakpastian. Nilai ketidakpastian untuk sekali pengukuran dapat ditentukan dengan persamaan matematika:

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times \text{nilai skala terkecil} \qquad (1.1)$$

Tentukanlah nilai ketidakpastian untuk pengukuran tunggal menggunakan jangka sorong!

**d. Cara mengukur menggunakan jangka sorong**

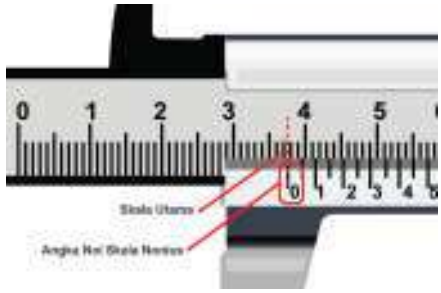
Tuliskanlah langkah-langkah pengukuran suatu benda menggunakan jangka sorong!

**e. Membaca pengukuran jangka sorong**

Kalian telah mengidentifikasi alat ukur jangka sorong. Bagaimana cara membaca hasil pengukuran menggunakan jangka sorong? Berikut ini merupakan langkah-langkah membaca hasil pengukuran jangka sorong.



**Gambar 1.8** Pengukuran dengan Menggunakan Jangka Sorong

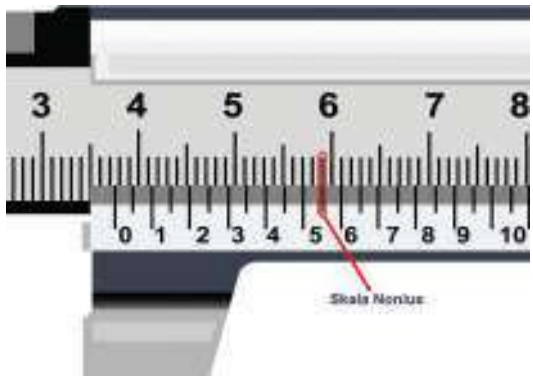



**Gambar 1.9** Membaca Skala Utama Jangka Sorong

Perhatikan Gambar 1.8 dan Gambar 1.9 yang merupakan perbesaran dari Gambar 1.8.

**Langkah pertama**, membaca skala utama. Skala bagian atas jangka sorong merupakan skala utama. Selain angka nol pada skala utama, acuan pembacaan ukuran skala utama adalah angka nol skala nonius seperti ditunjukkan pada Gambar 1.9.

Satu skala yang tepat berada di belakang nol skala nonius merupakan hasil pembacaan skala utama. Pada Gambar 1.9, skala utama yang terbaca dari hasil pengukuran tersebut adalah 3,700 cm.

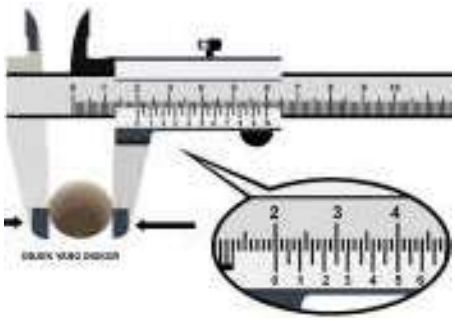



**Gambar 1.10** Membaca Skala Nonius Jangka Sorong

**Langkah kedua**, membaca skala nonius. Skala nonius yang garisnya berimpit dengan skala utamanya merupakan hasil pembacaan skala noniusnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.10. Skala nonius yang terbaca pada hasil pengukuran tersebut adalah 5,5. Kemudian, hasil pembacaan skala nonius dikalikan 0,01 cm, sehingga didapatkan skala nonius dari pengukuran tersebut adalah 0,055 cm.

**Langkah ketiga**, menjumlahkan hasil pembacaan skala utama dengan skala nonius. Hasil penjumlahan skala utama dan skala nonius pengukuran dengan jangka sorong pada Gambar 1.8 adalah 3,755 cm dengan nilai ketidakpastian alat ukur jangka sorong ini sebesar 0,005 cm, sehingga hasil pengukurannya adalah (3,755 ± 0,005) cm.

Coba tentukan hasil pengukuran diameter benda yang ditunjukkan oleh Gambar 1.11 berikut ini!



| | |
|---|---|
| Skala utama | = ..... |
| Skala nonius | = ..... × 0,01<br>= ..... |
| Hasil pengukuran | = ..... |

**Gambar 1.11** Membaca Alat Ukur Jangka Sorong
*Sumber: Wahyu Noveriyanto/Kemendikbudristek (2021)*

**f. Menuliskan hasil pengukuran**

Cara penulisan hasil pengukuran beserta nilai ketidakpastian dari suatu kegiatan pengukuran adalah sebagai berikut.

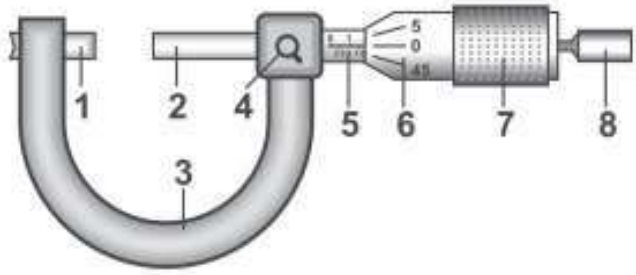
$$\bar{x} \pm \Delta x \qquad (1.2)$$

Tuliskanlah hasil pengukuran pada Gambar 1.11 sesuai dengan aturan penulisan di atas!

## 2. Mikrometer Sekrup

Carilah informasi mengenai hal-hal berikut.

**a. Bagian-bagian mikrometer sekrup**




**Gambar 1.12** Bagian-Bagian Mikrometer Sekrup
*Sumber: Wahyu Noveriyanto/Kemendikbudristek (2021)*

Tuliskanlah nama komponen-komponen pada mikrometer sekrup beserta fungsinya!

**b. Nilai skala terkecil pada alat ukur**

Perhatikan kembali Gambar 1.12. Alat ukur mikrometer sekrup juga memiliki dua skala. Skala yang letaknya di kiri dan arah pembacaannya horizontal (nomor 5) disebut skala utama. Skala utama merupakan skala yang bernilai 1 mm pada alat ukur tersebut. Sementara skala yang letaknya di kanan dan arah pembacaannya vertikal (nomor 6) disebut skala nonius. Skala nonius merupakan skala yang bernilai 0,01 mm.

Amatilah mikrometer sekrup pada Gambar 1.12, kemudian tentukanlah nilai skala terkecil dari skala utama dan skala noniusnya!

**c. Nilai ketidakpastian untuk sekali pengukuran**

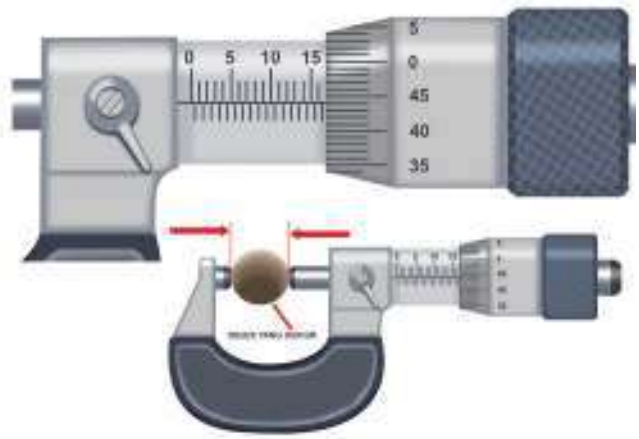
Kalian sudah mengetahui cara menentukan nilai ketidakpastian untuk sekali pengukuran menggunakan jangka sorong pada aktivitas sebelumnya. Sekarang, coba kalian tentukan nilai ketidakpastian untuk pengukuran tunggal menggunakan mikrometer sekrup!

**d. Cara mengukur menggunakan mikrometer sekrup**

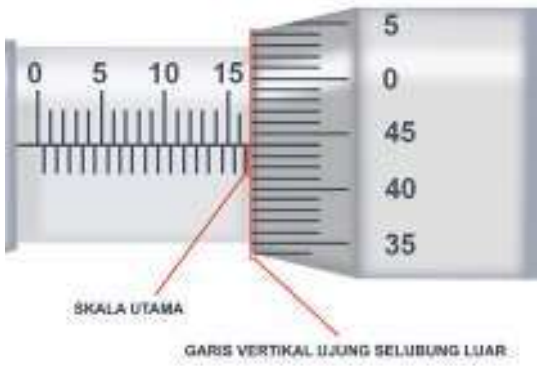
Tuliskanlah langkah-langkah pengukuran suatu benda menggunakan mikrometer sekrup!

**e. Membaca pengukuran mikrometer sekrup**

Perhatikan Gambar 1.13 dan Gambar 1.14 yang merupakan perbesaran dari Gambar 1.13.




**Gambar 1.13** Pengukuran dengan Menggunakan Mikrometer Sekrup




**Gambar 1.14** Membaca Skala Utama Mikrometer Sekrup

**Langkah pertama**, membaca skala utama. Skala pada selubung dalam merupakan skala utama. Garis vertikal ujung selubung luar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.14, adalah patokan atau acuan pembacaan skala utama.

Satu skala yang tepat berada di garis vertikal ujung selubung luar merupakan hasil pembacaan skala utama. Pada Gambar 1.14, skala utama yang terbaca dari hasil pengukuran adalah 16,50 mm.




**Gambar 1.15** Membaca Skala Nonius Mikrometer Sekrup

**Langkah kedua**, membaca skala nonius. Skala nonius yang garisnya sejajar dengan skala utamanya merupakan hasil pembacaan skala noniusnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.15. Skala nonius yang terbaca pada hasil pengukuran tersebut adalah 44. Kemudian, hasil pembacaan skala nonius dikalikan 0,01 mm, sehingga didapatkan skala nonius dari pengukuran tersebut adalah 0,44 mm.

**Langkah ketiga**, menjumlahkan hasil pembacaan skala utama dengan skala nonius. Hasil penjumlahan skala utama dan skala nonius pengukuran dengan mikrometer sekrup pada Gambar 1.13 adalah 16,94 mm dengan nilai ketidakpastian alat ukur jangka sorong ini sebesar 0,01 mm, sehingga hasil pengukurannya adalah (16,94 ± 0,01) cm.

Coba tentukan hasil pengukuran diameter benda yang ditunjukkan oleh Gambar 1.16 berikut ini!




**Gambar 1.16** Membaca Alat Ukur Mikrometer Sekrup
*Sumber: Wahyu Noveriyanto/Kemendikbudristek (2021)*

| | |
|---|---|
| Skala utama | = ..... |
| Skala nonius | = ..... × 0,01<br>= ..... |
| Hasil pengukuran | = ..... |

### f. Menuliskan hasil pengukuran

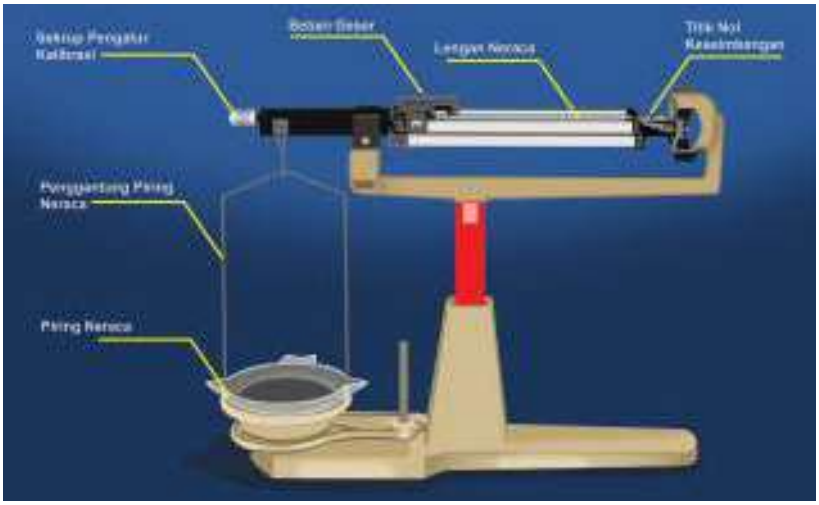
Tuliskanlah hasil pengukuran mikrometer sekrup sesuai dengan aturan cara penulisan hasil pengukuran pada persamaan 1.2!

## 3. Neraca Massa

Massa adalah jumlah materi yang terkandung dalam suatu zat tanpa dipengaruhi gravitasi bumi. Untuk mengukur massa zat digunakan alat yang disebut neraca. Neraca yang umum digunakan adalah neraca digital dan neraca nondigital.

Carilah informasi tentang hal-hal berikut.

**a. Bagian-bagian neraca empat lengan sebagai neraca nondigital**




**Gambar 1.17** Bagian-Bagian Neraca Empat Lengan

Tuliskanlah nama komponen-komponen neraca empat lengan beserta fungsinya!

**b. Nilai skala terkecil pada neraca empat lengan**

Tentukanlah nilai skala terkecil dari neraca empat lengan!

**c. Nilai ketidakpastian untuk sekali pengukuran**

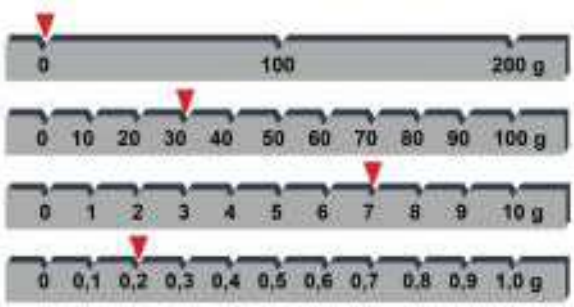
Tentukanlah nilai ketidakpastian untuk pengukuran tunggal menggunakan neraca empat lengan!

**d. Cara mengukur menggunakan neraca empat lengan**

Tuliskanlah langkah-langkah untuk mengukur massa benda menggunakan neraca empat lengan.

**e. Membaca pengukuran neraca empat lengan**

Hasil pengukuran massa suatu benda dengan menggunakan neraca empat lengan dapat dilihat pada skala-skala yang ditunjukkan pada keempat lengannya.




**Gambar 1.18** Membaca alat ukur neraca empat lengan

Berdasarkan Gambar 1.18, tentukan hasil pengukurannya!

| Lengan | Hasil Pembacaan Ukuran (gram) |
|---|---|
| Lengan Pertama | |
| Lengan Kedua | |
| Lengan Ketiga | |
| Lengan Keempat | |
| Hasil Pengukuran total | |

**f. Menuliskan hasil pengukuran**

Tuliskanlah hasil pengukuran neraca empat lengan sesuai dengan aturan cara penulisan pada persamaan 1.2!

**g. Neraca digital**

Kalian telah melakukan eksplorasi alat ukur massa neraca empat lengan, namun dalam kehidupan sehari-hari kalian lebih sering menjumpai neraca digital. Untuk mengenal lebih jauh mengenai neraca digital, jawablah pertanyaan berikut ini!

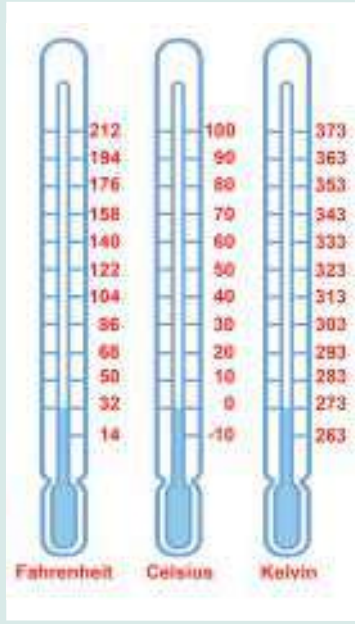
1. Mengapa neraca digital lebih banyak digunakan dalam masyarakat dibandingkan neraca nondigital?
2. Terdapat bermacam-macam neraca digital berdasarkan objek yang diukur. Carilah satu contoh neraca digital di internet dan buatlah deskripsi tentang batas bawah pengukuran, batas atas pengukuran, dan nilai ketidakpastian alat ukur tersebut!

3. Apa kekurangan dari neraca digital?
4. Bagaimana langkah-langkah mengukur dengan menggunakan neraca digital?

Fakta Sains

## Alat Ukur Suhu

Suhu merupakan ukuran intensitas panas atau dinginnya suatu benda. Alat ukur suhu adalah termometer. Dalam kehidupan sehari-hari, termometer dapat ditemukan dalam beragam jenis, bergantung bahan atau skala suhunya. Jenis termometer yang umum dijumpai adalah termometer analog (termometer raksa atau alkohol). Termometer raksa atau alkohol berupa tabung kaca dengan rongga kolom cairan yang sempit dan tertutup. Pada termometer raksa atau alkohol, terdapat *bulb* berisi raksa atau alkohol pada salah satu ujung tabung. Alkohol atau raksa dapat memuai dan menyusut di dalam tabung apabila terjadi perubahan suhu pada benda yang diukur. Penyusutan dan pemuaian raksa atau alkohol mengisi kolom tabung termometer didefinisikan dalam bentuk skala angka, sehingga perubahan suhu dapat terukur secara kuantitatif.




**Gambar 1.19** Perbandingan Skala Termometer Celcius, Kelvin, dan Fahrenheit

Skala termometer yang banyak digunakan adalah celsius. Skala yang ditetapkan sebagai satuan standar internasional untuk besaran suhu adalah kelvin. Skala lainnya adalah reamur dan fahrenheit.

Termometer dapat digunakan untuk berbagai keperluan pengukuran suhu, misalnya termometer klinis untuk mengukur suhu tubuh dan termometer laboratorium. Termometer klinis dapat berupa termometer

analog dan digital. Termometer klinis mempunyai skala suhu antara 32–42°C. Bagaimana dengan termometer laboratorium? Termometer laboratorium digunakan untuk mengukur suhu larutan dengan skala umumnya –10 sampai 150°C.


(a)


(b)


(c)

**Gambar 1.20** Macam-macam termometer berdasarkan kegunaannya: (a) termometer klinis analog, (b) termometer klinis digital, dan (c) termometer laboratorium.

*Sumber: (a) PublicDomainPictures/pixabay.com (2010), (b) 4595544/pixabay.com (2018), (c) Sophie Bradford (bs2sjh)/ pixabay.com (2016)*

Fakta Sains

## Alat Ukur Volume

Dalam bidang ilmu pengetahuan alam, terdapat banyak alternatif alat ukur volume yang dapat digunakan bergantung pada zat yang diukur. Berikut ini beberapa contohnya.

### 1. Silinder Ukur

Silinder ukur digunakan dengan cara mengisi cairan sebanyak volume yang diinginkan. Ada beberapa batas atas ukuran pada silinder ukur, mulai dari 10 ml, 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml, 1.000 ml, dan 2.000 ml. Perlu diperhatikan, volume cairan dilihat dari skala yang berimpit pada bagian cekung (meniskus) permukaan cairan.

### 2. Pipet Volumetrik

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur volume cairan pada skala 0,1 ml. Untuk mengambil cairan digunakan pompa karet yang disebut *bulp*.

### 3. Labu Ukur

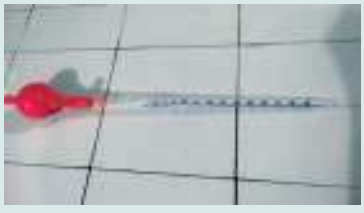
Labu ukur terbuat dari kaca yang memiliki kapasitas tertentu misalnya 10 ml, 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml, 1.000 ml, dan 2.000 ml. Terdapat tanda garis pada leher labu yang menunjukkan batas volume cairan. Cara membaca batas cairan ini adalah pada batas cekungan (meniskus) yang merupakan bagian atas permukaan cairan.

### 4. Piknometer

Alat untuk mengukur massa jenis larutan salah satunya adalah piknometer. Alat ini terbuat dari kaca, memiliki tutup, dan mempunyai kapasitas volume tertentu, misalnya 25 ml. Cara kerjanya adalah piknometer kosong beserta tutup ditimbang lalu dicatat massanya. Piknometer diisi cairan yang akan diukur massa jenisnya sampai penuh lalu ditutup. Volume cairan ini adalah 25 ml. Untuk menentukan massa cairan, piknometer berisi cairan dan tutupnya ditimbang kembali. Selisih massa piknometer bertutup dan berisi cairan dikurangi massa piknometer bertutup dalam keadaan kosong adalah massa cairan (gram). Dengan demikian, massa jenis adalah perbandingan massa cairan (g) dibagi volume cairan ($cm^3$). Satuan yang umum digunakan adalah $g/cm^3$, g/ml, atau $kg/m^3$.



(a) (b) (c)



(e)

**Gambar 1.21** Macam-macam alat ukur volume (a) silinder ukur, (b) labu ukur, (c) piknometer, (d) pipet volumetrik

*Sumber: Elizabeth Tjahjadarmawan/Kemdikbudristek (2023)*

## Aktivitas 1.4 Ayo Identifikasi

Pada aktivitas sebelumnya, kalian sudah memahami beragam alat ukur. Sekarang, coba kalian bandingkan penggunaan alat ukur panjang untuk mengukur panjang dari beberapa benda di sekitar kalian.

1. Kalian akan mengukur satu benda yang sama dengan menggunakan tiga alat ukur yang berbeda. Apakah hasil pengukurannya akan sama atau berbeda? Jelaskanlah alasannya!
2. Salinlah dan isi tabel berikut ini sesuai dengan hasil pengukuran pada buku latihan kalian.

| No. | Besaran Benda yang Diukur | Mikrometer Sekrup | Jangka Sorong | Penggaris |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Diameter dalam tutup botol | | | |
| 2. | Diameter luar tutup botol | | | |
| 3. | Panjang botol | | | |
| 4. | Tebal buku tulis | | | |
| 5. | Lebar buku tulis | | | |
| 6. | Panjang buku tulis | | | |

3. Berdasarkan aktivitas yang kalian lakukan, adakah alat ukur yang tidak sesuai dengan benda yang diukur? Besaran apa sajakah itu? Mengapa bisa tidak sesuai?
4. Berdasarkan perbandingan hasil pengukuran yang kalian dapatkan, alat ukur apa yang cocok untuk mengukur diameter baut? Seberapa teliti pengukurannya? Jelaskan alasannya!

## C. Aturan Angka Penting

Kalian sudah melakukan pengukuran diameter luar tutup botol pada Aktivitas 1.4. Coba tentukanlah luas permukaan lingkaran tutup botol tersebut dengan menggunakan data diameter luarnya dan nyatakan hasilnya dalam satuan SI.

Kalian diperbolehkan menggunakan kalkulator, namun hasil yang ditunjukkan pada kalkulator harus ditulis ulang, tidak boleh dibulatkan.

Perhitungan yang kalian lakukan menghasilkan nilai desimal yang begitu panjang. Tentu ini menjadi tidak praktis dalam penulisannya. Untuk itu, terdapat beberapa aturan pembulatan yang telah disepakati, yaitu **aturan angka penting**.

Mengapa disebut angka penting? Apakah ada angka yang tidak penting? Bagaimana aturan pembulatan angka penting pada operasi hitung? Untuk memahami aturan angka penting, kalian perlu memahami angka penting dan angka tidak penting.

**Tabel 1.4** Angka Penting dan Angka Tidak Penting

| Angka Penting | Angka Tidak Penting |
|---|---|
| **Semua angka bukan nol**<br>Contoh:<br>3,25 cm ada 3 angka penting.<br>125,5 g ada 4 angka penting. | **Angka nol di belakang angka bukan nol tanpa tanda desimal**<br>Contoh:<br>1.000 m ada 1 angka penting; tiga angka nol bukan angka penting. |
| **Angka nol yang berada di antara angka bukan nol**<br>Contoh:<br>1,004 cm ada 4 angka penting.<br>10,75 g ada 4 angka penting. | **Angka nol berada di depan tanda desimal tanpa angka bukan nol**<br>Contoh:<br>0,0026 kg ada 2 angka penting; angka nol di depan tanda desimal dan dua angka nol di belakang tanda desimal juga bukan angka penting. |
| **Angka di belakang tanda desimal dan mengikuti angka bukan nol**<br>Contoh:<br>31,00 cm ada 4 angka penting.<br>0,150 kg ada 3 angka penting. | **Angka nol di belakang angka nol yang digarisbawahi**<br>Contoh:<br>4<u>0</u>0 cm ada 2 angka penting; angka nol terakhir bukan angka penting. |
| **Angka nol berada di antara angka bukan nol dan tanda desimal**<br>Contoh:<br>20,0 cm ada 3 angka penting. | **Notasi ilmiah atau notasi eksponen bukan angka penting**<br>Contoh:<br>$3{,}14 \times 10^{-5}$ m ada 3 angka penting, yaitu 3,14, sementara $10^{-5}$ bukan angka penting. |
| **Angka nol yang diberi garis bawah dan berada di belakang angka bukan nol**<br>Contoh:<br>4<u>0</u>0 cm ada 2 angka penting. | |

Jika seluruh angka hasil pengolahan data tidak ditulis seluruhnya, apa yang perlu dilakukan? Berdasarkan aturan matematika, seluruh angka hasil operasi matematika dapat dibulatkan. Bagaimana aturan pembulatan angka?

Pembulatan ke atas dilakukan apabila angka yang dibulatkan bernilai sama dengan atau lebih dari 5. Contohnya 52,976686625 $cm^2$ ingin dibulatkan hingga 4 angka penting, maka angka kelimanya perlu dibulatkan. Angka kelima dari angka tersebut bernilai 6 (lebih dari lima), sehingga dilakukan pembulatan ke atas dengan cara menambahkan 1 pada angka keempat. Jadi, hasil pembulatannya adalah 52,98 $cm^2$.

Adapun pembulatan ke bawah dilakukan apabila angka yang dibulatkan bernilai kurang dari 5. Contohnya 52,973376625 $cm^2$ ingin dibulatkan hingga 4 angka penting, maka angka kelimanya perlu dibulatkan. Angka kelima dari angka tersebut bernilai 3 (kurang dari lima), sehingga dilakukan pembulatan ke bawah dengan cara menambahkan 0 pada angka keempat. Jadi, hasil pembulatannya adalah 52,97 $cm^2$.

## 1. Aturan Operasi Penjumlahan dan Pengurangan Angka Penting

Setiap hasil pengukuran mengandung angka pasti dan angka taksiran (angka tidak pasti). Angka pasti merupakan angka yang diberikan oleh alat ukur sesuai dengan ketelitiannya. Angka taksiran dalam ilmu pengukuran disebut sebagai *error* atau *uncertainty* merupakan angka terakhir hasil pengukuran yang ditaksir. Contohnya hasil pengukuran dengan menggunakan jangka sorong adalah 4,23 cm. Angka pasti dari pengukuran tersebut adalah 4,2 cm, sementara 3 merupakan angka taksiran. Angka taksiran biasanya diberi tanda garis bawah.

**Contoh:**

Sebuah batang besi panjangnya diukur dengan menggunakan jangka sorong sebesar 8,235 cm. Batang besi tersebut disambung dengan batang besi sepanjang 4,5 cm yang diukur dengan menggunakan penggaris. Berdasarkan aturan operasi penjumlahan angka penting, panjang batang besi setelah disambung dapat ditentukan dengan cara berikut.

$$\begin{array}{r} 8{,}23\underline{5}\ \text{cm} \\ \underline{4{,}\underline{5}\quad\ \text{cm}} \\ 12{,}7\underline{3}\underline{5}\ \text{cm} \end{array} +$$

Hasil penjumlahan tidak boleh mengandung dua angka taksiran, sehingga harus dilakukan pembulatan angka pada angka 3 agar angka taksiran hanya menyisakan satu. Pembulatan dari hasil penjumlahan tersebut adalah 12,7 cm dengan angka 7 sebagai angka taksiran.

## 2. Aturan Operasi Perkalian dan Pembagian Angka Penting

Pembulatan hasil operasi perkalian dan pembagian dalam pengolahan data pengukuran dilakukan berdasarkan jumlah angka pentingnya. Banyaknya angka penting dari hasil operasi perkalian dan pembagian harus sejumlah angka penting terkecil dari hasil pengukuran.

**Contoh 1:**

Selembar karton diukur dengan menggunakan jangka sorong memiliki lebar 12,455 cm. Sementara panjangnya diukur dengan menggunakan penggaris sebesar 35,2 cm. Karton tersebut berbentuk persegi panjang sehingga luas permukaannya dapat ditentukan dengan cara mengalikan panjang dan lebarnya. Berdasarkan aturan operasi perkalian angka penting, luas karton tersebut dapat ditentukan dengan cara berikut.

**Langkah pertama,** menentukan jumlah angka penting dari hasil pengukuran.
12,455 cm merupakan 5 angka penting
35,2 cm merupakan 3 angka penting

**Langkah kedua,** membandingkan jumlah angka penting terkecil dari hasil pengukuran. Panjang karton 35,2 cm memiliki angka penting lebih kecil daripada lebar karton 12,455 cm, yaitu sebanyak 3 angka penting, sehingga hasil perkalian harus dibulatkan hingga 3 angka penting.

**Langkah ketiga,** mengalikan panjang dengan lebar karton. Hasil perkaliannya adalah 438,416 $cm^2$.

**Langkah keempat,** membulatkan hasil perkalian sejumlah angka penting terkecil hasil pengukuran. Luas karton sebesar 438,416 $cm^2$ memiliki 6 angka penting. Hasil pembulatan hingga tiga angka penting adalah 438 $cm^2$.

**Contoh 2:**

Contoh aturan operasi perkalian angka penting lainnya adalah mencari luas permukaan atas tutup botol berdiameter 3,12 cm yang diukur menggunakan jangka sorong.

Luas permukaan tutup botol dapat dicari dengan cara:

$$\text{Luas} = \frac{1}{4}\pi d^2$$
$$= \frac{1}{4}(3{,}14)(3{,}12)^2$$
$$= 7{,}641404 \text{ cm}^2$$

Kemudian, tentukan jumlah angka penting dari hasil pengukuran diameter tutup botol. Phi dan ¼ merupakan konstanta yang nilainya tetap sehingga angka pentingnya tidak perlu dihitung.

Diameter tutup botol adalah 3,12 cm, maka jumlah angka pentingnya adalah tiga.

Lakukan pembulatan nilai luas permukaan atas tutup botol sampai sejumlah angka penting, yaitu tiga angka penting.

Luas = 7,641404 $\text{cm}^2$ dibulatkan menjadi 7,64 $\text{cm}^2$.

Coba kalian lakukan kembali aturan pembulatan tersebut untuk menghitung luas permukaan atas tutup botol pada kegiatan pengukuran sebelumnya. Tuliskan langkah-langkahnya pada buku latihan kalian.

Untuk memudahkan kalian dalam menuliskan hasil pengolahan data yang angkanya sangat kecil atau sangat besar, kalian dapat menggunakan aturan penulisan notasi ilmiah. Contohnya pada perhitungan luas permukaan atas tutup botol sebelumnya, kalian mendapati luas sebesar 7,64 $\text{cm}^2$. Nilai ini jika dikonversikan dalam satuan $\text{m}^2$ menjadi 0,0000764 $\text{m}^2$. Hasil konversi ini dapat dituliskan dalam aturan notasi ilmiah atau dinyatakan dalam 10 pangkat *n* sebagai berikut.

Luas = 0,0000764 $\text{m}^2$ = $7{,}64 \times 10^{-4}$ $\text{m}^2$

**Catatan:**

Sebelum melakukan konversi satuan, nilai luas permukaan harus dibulatkan terlebih dahulu sejumlah angka pentingnya. Lakukan konversi satuan luas sesuai dengan satuan yang kalian inginkan. Kemudian tuliskan dalam bentuk aturan notasi ilmiah. Tuliskan langkah-langkahnya pada buku latihan kalian.

## Ayo Berlatih

Kalian sudah memahami bahwa untuk membulatkan hasil pengolahan data tidak bisa sembarang. Untuk menguji pemahaman kalian, coba kerjakan soal-soal berikut!

1. Mengapa jumlah angka penting dari hasil pengukuran perlu diketahui?
2. Jika nilai yang kalian dapatkan dari hasil pengolahan data sangat kecil atau sangat besar, bagaimana cara kalian menuliskannya?
3. Hasil pengukuran panjang sebuah batang kayu dengan menggunakan jangka sorong adalah 12,75 cm. Batang kayu tersebut disambung dengan batang kayu lainnya yang diukur dengan menggunakan penggaris sepanjang 7,5 cm. Tentukanlah panjang batang kayu yang telah tersambung itu dengan menggunakan aturan angka penting!
4. Sebuah pelat aluminium memiliki panjang 15,32 cm dan lebar 10,2 cm.
   a. Tentukanlah luas pelat aluminium dengan menggunakan aturan angka penting!
   b. Konversikan satuan luas pelat aluminium tersebut dalam SI!
5. Diameter sebuah tutup kaleng sebesar 22,25 cm.
   a. Tentukanlah luas permukaan tutup kaleng dengan menggunakan aturan angka penting!
   b. Konversikan satuan luas permukaan tutup kaleng tersebut dalam SI!

## D. Nilai Ketidakpastian pada Pengukuran Berulang

Pada setiap aktivitas pengukuran, kesalahan pengukuran tidak dapat dihindarkan, apalagi jika pengukuran hanya dilakukan sekali, peluang ketidaksesuaian antara hasil pengukuran dengan ukuran sebenarnya semakin besar. Coba telusuri informasi tentang penyebab kesalahan pengukuran pada Aktivitas 1.5 berikut ini.

## Aktivitas 1.5 Ayo Cari Tahu

**Kegiatan Pendahuluan**

Sebelum menjawab pertanyaan di bawah, lakukanlah langkah-langkah kegiatan pendahuluan berikut secara berkelompok dengan beranggotakan lima orang.

1. Pilihlah satu benda untuk diukur dengan menggunakan jangka sorong.
2. Lakukanlah pengukuran secara bergantian dengan menggunakan jangka sorong yang sama oleh setiap anggota kelompok.
3. Masing-masing anggota menuliskan hasil pengukuran pada buku tulis, tanpa memberitahukan kepada teman sekelompok.
4. Tuliskan data hasil pengukuran seluruh anggota kelompok dalam bentuk tabel.

**Tugas**

1. Apakah hasil pengukuran setiap orang dalam satu kelompok berbeda? Mengapa demikian?
2. Carilah informasi mengenai faktor-faktor apa saja yang dapat menyebabkan kesalahan pengukuran!

Untuk mengurangi faktor kesalahan pengukuran, kalian dapat mengatasinya dengan melakukan pengukuran secara berulang. Pengambilan data untuk pengukuran berulang minimal dilakukan sebanyak lima kali. Bagaimana cara mengetahui nilai ketidakpastian pengukuran berulang? Untuk mengetahuinya, kalian dapat menggunakan persamaan standar deviasi yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\Delta X = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{N\sum_{i=1}^{N} x_i^{\,2} - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2}{N-1}} \qquad (1.3)$$

Keterangan:

$N$ = banyaknya data

$x_i$ = data ke-$i$, dengan $i$ berurut dari 1 hingga $N$

$x_i^2$ = data ke-$i$ dikuadratkan

$\Sigma x_i^2$ = penjumlahan seluruh kuadrat data ke-$i$

$\Sigma x_i$ = penjumlahan seluruh data ke-$i$

$(\Sigma x_i)^2$ = kuadrat penjumlahan seluruh data ke-$i$

Bagaimana aturan membulatkan angka hasil pengolahan data?

**Langkah pertama**, menentukan nilai ketidakpastian relatifnya dengan cara sebagai berikut.

$$\text{Ketidakpastian relatif} = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \qquad (1.4)$$

**Langkah kedua**, mencocokkan persentase ketidakpastian relatif yang didapatkan dengan aturan berikut.

**Aturan penulisan hasil pengolahan data berdasarkan ketidakpastian relatif**

1. Jika persentase ketidakpastian relatif pada kisaran nilai 0,1%, jumlah angka hasil pengolahan data yang dituliskan 4 angka penting.
2. Jika persentase ketidakpastian relatif pada kisaran nilai 1%, jumlah angka hasil pengolahan data yang dituliskan 3 angka penting.
3. Jika persentase ketidakpastian relatif pada kisaran nilai 10%, jumlah angka hasil pengolahan data yang dituliskan 2 angka penting.

Hasil pengolahan data dapat dituliskan dengan cara yang ditunjukkan oleh Persamaan 1.2 dengan $\bar{x}$ merupakan rata-rata nilai besaran yang diukur secara berulang.

**Contoh:**

Lima orang siswa mengukur diameter sebuah tutup botol dengan menggunakan jangka sorong secara bergantian. Masing-masing siswa mendapatkan kesempatan satu kali mengukur, sehingga didapatkan tabel hasil pengukuran sebagai berikut.

| Percobaan | Nama Siswa yang mengukur | Diameter tutup botol (cm) |
|---|---|---|
| 1 | Andi | 3,12 |
| 2 | Bernadette | 3,14 |
| 3 | Nisa | 3,15 |
| 4 | Neneng | 3,11 |
| 5 | Togar | 3,14 |

Mereka diminta untuk menentukan luas permukaan lingkaran tutup botol beserta nilai ketidakpastiannya.

Berikut ini tabel pengolahan datanya.

| No. | Diameter Tutup Botol, $d$ (cm) | Luas Permukaan Atas Tutup Botol, $A = \frac{1}{4}\pi d^2$ (cm$^2$) | Kuadrat Luas Permukaan Atas Tutup Botol, $A^2$ (cm$^4$) |
|---|---|---|---|
| 1. | 3,12 | 7,64 | 58,4 |
| 2. | 3,14 | 7,74 | 59,9 |
| 3. | 3,15 | 7,79 | 60,7 |
| 4. | 3,11 | 7,59 | 57,6 |
| 5. | 3,14 | 7,74 | 59,9 |
| $\Sigma A$ | | 38,5 cm$^2$ | |
| $x = (\Sigma A)^2$ | | 1.482,25 cm$^4$ | |
| $y = \Sigma A^2$ | | 296,5 cm$^4$ | |

Keterangan:
$x$ merupakan kuadrat nilai hasil penjumlahan seluruh luas permukaan lingkaran tutup botol dan $y$ merupakan penjumlahan seluruh nilai hasil kuadrat luas permukaan lingkaran tutup botol.

Diketahui: jumlah data, $N = 5$
$x = 1.482{,}25$ cm$^4$
$y = 296{,}5$ cm$^4$

Jawaban:
Menentukan nilai rerata luas permukaan lingkaran tutup botol:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^{N} A}{N} = \frac{38{,}5}{5} = 7{,}70 \text{ cm}^2$$

Menentukan nilai ketidakpastian pengukuran berulang:

$$\Delta A = \frac{1}{\sqrt{N}}\sqrt{\frac{N\sum_{i=1}^{N} A^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} A\right)^2}{N-1}}$$
$$= \frac{1}{\sqrt{5}}\sqrt{\frac{5(296,5) - 1.482,25}{5-1}}$$
$$= \frac{1}{\sqrt{5}}\sqrt{\frac{1.482,50 - 1.482,25}{5-1}}$$
$$= \frac{1}{\sqrt{5}}\sqrt{\frac{0,25}{4}}$$
$$= \frac{1}{\sqrt{5}}\sqrt{\frac{1}{16}}$$
$$= \frac{1}{2,236}.\frac{1}{4}$$
$$= \frac{1}{8,944}$$
$$= 0,11181 \text{ cm}^2$$

Nilai ketidakpastian relatifnya adalah:

$$\text{Persentase ketidakpastian relatif} = \frac{\Delta A}{A} \times 100\%$$
$$= \frac{0.11181}{7,70} \times 100\%$$
$$= 0,014520363 \times 100\%$$
$$= 1,45\%$$

Persentase ketidakpastian relatif bernilai 1,45%, atau nilainya pada kisaran 1%, sehingga jumlah angka hasil pengolahan datanya dituliskan sebanyak 3 angka penting.

Jadi, luas permukaan tutup botol tersebut adalah:
$A = (7,70 \pm 0,11)$ cm$^2$

Kalian sudah mempelajari banyak hal, mulai dari kegiatan pengukuran hingga mengolah data. Sekarang, mari kita selesaikan kasus berita pada awal bab dengan melakukan Proyek Akhir Bab berikut.

## Proyek Akhir Bab

### Menentukan Massa Jenis Baut

**A. Tahap Persiapan Praktikum**

Di awal bab, kalian telah membaca berita singkat mengenai kecelakaan akibat patahnya baut roda truk. Truk selalu mengangkut muatan berat sehingga baut roda yang dipilih haruslah tidak mudah patah, berkarat, dan memuai.



**Gambar 1.22** Macam-Macam Material Baut
*Sumber: Alex Tepetidis/pexels.com*

Ada bermacam jenis baut, baik dari ukuran maupun warna atau bahan materialnya. Baut yang berkualitas tentu memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi dibandingkan baut biasa. Kali ini, kalian akan berlatih bagaimana cara mengetahui material baut dan kemungkinan adanya pemalsuan. Kalian perlu menyiapkan tiga sampel baut yang berbeda warna dan ukurannya. Untuk menentukan jenis materialnya, kalian dapat melakukan percobaan sederhana berikut.

**B. Observasi**

1. Amatilah Gambar 1.25. Berdasarkan pengamatan kalian, besaran turunan fisika apa yang dapat digunakan untuk mengetahui jenis baut? Tentukan persamaannya!
2. Untuk mendapatkan besaran fisika pada nomor 1, besaran-besaran apa saja yang harus diukur?

3. Dengan mempertimbangkan wujud baut, alat ukur apa yang dapat digunakan untuk mengukur besaran-besaran pada nomor 2? Jelaskan cara kalian mengukurnya? Kalian dapat memilih alat ukur yang ada pada Aktivitas 1.2 dan 1.4 sebagai referensi)

**C. Klasifikasi**

Dalam suatu praktikum, hubungan sebab-akibat ini diperlihatkan oleh berubahnya besaran-besaran tertentu akibat perlakuan atau berubahnya besaran-besaran lainnya. Besaran-besaran yang terlibat dalam hubungan sebab-akibat ini disebut dengan variabel.

4. Besaran apa yang diubah-ubah nilainya (variabel bebas) pada praktikum ini?
5. Dalam praktikum, terdapat besaran yang nilainya harus sama ketika pengukuran dilakukan pada ketiga baut (variabel kontrol). Besaran apakah itu?

**D. Interpretasi**

6. Besaran apa saja yang ikut berubah karena adanya variabel bebas? (Besaran ini kemudian kita sebut sebagai variabel terikat).

**E. Merencanakan Eksperimen**

7. Jika ketiga baut berbeda jenisnya (terlihat dari warnanya yang berbeda), sementara ukurannya sama, tentukanlah variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol dalam praktikum ini!

**F. Memproses dan Menganalisis Informasi**

Buatlah laporan praktikum dengan format sebagai berikut.

I. Judul praktikum
II. Tujuan praktikum
III. Dasar teori
IV. Alat dan bahan
V. Prosedur Praktikum
VI. Tabel Pengamatan
VII. Tabel Pengolahan Data
VIII. Analisis Data
IX. Kesimpulan

## Intisari

1. Mengukur adalah kegiatan membandingkan ukuran suatu benda yang belum diketahui ukurannya dengan alat yang dianggap sebagai ukuran standar.
2. Besaran merupakan sesuatu yang akan diukur.
3. Besaran pokok merupakan besaran dasar yang satuannya sudah ditetapkan.
4. Besaran turunan merupakan besaran yang satuannya tersusun dari beberapa satuan besaran pokok.
5. Satuan merupakan ukuran yang menjadi acuan dari suatu besaran.
6. Dimensi merupakan cara suatu besaran turunan disusun berdasarkan besaran pokoknya.
7. Nilai ketidakpastian pengukuran menyatakan nilai yang menyatakan kemungkinan *error* dari kegiatan pengukuran. Untuk sekali pengukuran, nilai ketidakpastian alat ukur dinyatakan dengan persamaan:

   $$\Delta x = \frac{1}{2} \times \text{nilai skala terkecil}$$

   Untuk pengukuran berulang, nilai ketidakpastian alat ukur dinyatakan dengan:

   $$\Delta x = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{N\sum_{i=1}^{N} x_i^{\,2} - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2}{N-1}}$$

8. Nilai ketidakpastian relatif pengukuran ditentukan dengan persamaan:

   $$\text{Ketidakpastian relatif} = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

9. Aturan pembulatan angka hasil pengolahan data dilakukan dengan aturan angka penting.
10. Hasil pengukuran atau hasil akhir pengolahan data dituliskan dengan cara: $x \pm \Delta x$.

## Ayo Cek Pemahaman

***I. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat!***

1. Perhatikan tabel berikut ini.

| No. | Besaran | Satuan |
|---|---|---|
| 1. | Tekanan | Pa |
| 2. | Massa jenis | $kg/m^2$ |
| 3. | Energi | joule |
| 4. | Gaya | $kg/m.s^2$ |
| 5. | Intensitas cahaya | candela |

Besaran turunan beserta satuannya dalam SI yang benar adalah ....

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

2. Dimensi dari gaya dikalikan selang waktu adalah ....

a. $[M][L][T]^2$
b. $[M][L][T]$
c. $[M][L][T]^{-1}$
d. $[M][L][T]^{-2}$
e. $[M][L]^{-1}[T]^{-2}$

3. Sebuah mobil melaju dengan kelajuan yang ditunjukkan oleh speedometer di samping. Dapat disimpulkan bahwa dalam selang waktu satu detik, mobil tersebut telah berpindah sejauh ....



a. 6.000 meter
b. 1.000 meter
c. 600 meter
d. 167 meter
e. 16,7 meter

4. Pak Maman ingin menyambungkan pipa-pipa saluran air dengan penyambung pipa berbentuk T seperti gambar di samping.
Agar Pak Maman tidak salah membeli, ia perlu mengukur diameter dalam pipa T dengan menggunakan ....



a. jangka sorong
b. meteran roll
c. Penggaris
d. mikrometer sekrup
e. neraca o'hauss

5. Pada *flashdisk* tertulis "8 GB", artinya adalah kapasitas penyimpanannya mencapai .....
   a. $8 \times 10^3$ Byte
   b. $8 \times 10^6$ Byte
   c. $8 \times 10^9$ Byte
   d. $8 \times 10^{12}$ Byte
   e. $8 \times 10^{15}$ Byte

**II. *Bacalah cuplikan berita berikut kemudian jawablah pertanyaannya!***

## Inilah Cara Mengenali Timbangan yang Dicurangi Pedagang



**TEMPO.CO, Bangkalan**. Petugas Dinas Perindustrian dan Perdagangan Jawa Timur menggelar tera ulang timbangan di kantor Kecamatan Kamal, Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur, Selasa, 3 November 2015. Puluhan pedagang di Pasar Kamal dan pemilik toko kelontong datang membawa timbangan mereka untuk diservis.

"Mayoritas timbangan yang dibawa tidak sesuai dengan standar nasional," kata Dary, petugas tera dari Unit Pelaksana Tugas Bidang Kemetrologian Pamekasan Dinas Perindustrian dan Perdagangan Jawa Timur.

Menurut dia, ada banyak hal yang menyebabkan timbangan pedagang tidak sesuai dengan standar nasional, di antaranya cara pemakaian yang tidak tepat dan lain-lain. Tentu ada juga yang sengaja diakali. "Tapi, mayoritas yang dibawa ke sini karena faktor alam, yaitu karatan, sehingga keseimbangan berubah melewati batas toleransi dengan selisih sebesar 20 gram untuk timbangan 5 kilogram," ujarnya.

Sementara itu, Komarudin, salah satu petugas tera, menyebut ciri-ciri timbangan yang diakali pedagang. Menurut dia, bila pedagang buah atau pedagang sembako selalu meletakkan batu kiloan di atas timbangan, patut dicurigai timbangan tersebut telah diakali.

Sementara itu, Sukron, pedagang di Pasar Kamal, meminta tera ulang tidak dilakukan sekali dalam satu tahun. Sebab, kerusakan timbangan selalu membuat dia tekor. "Kalau bisa, ada petugas tera di tiap kecamatan. Jadi, kapan pun rusak, timbangan bisa langsung diperbaiki," ucapnya. Soal biaya tera, Sukron mengatakan tidak mahal. Untuk timbangan 5 kilogram hanya dikenai biaya Rp6.500 per unit.

*Sumber bacaan: https://nasional.tempo.co/read/715491/inilah-cara-mengenali-timbangan-yang-dicurangi-pedagang*

Untuk soal nomor 1 sampai 4, pilihlah satu jawaban yang paling tepat dan berikan alasannya!

1. Kesalahan pengukuran yang disebutkan pada paragraf ketiga kalimat ketiga termasuk dalam kesalahan pengukuran akibat ....
   - ☐ Kesalahan acak
   - ☐ Kesalahan sistematik
   - ☐ Kesalahan paralaks
   - ☐ Keterbatasan keterampilan pengamat

   Alasan: _____

2. Kesalahan pengukuran yang disebutkan pada paragraf ketiga kalimat pertama termasuk dalam kesalahan pengukuran akibat ....
   - ☐ Kesalahan acak
   - ☐ Kesalahan sistematik
   - ☐ Kesalahan paralaks
   - ☐ Keterbatasan keterampilan pengamat

   Alasan: _____

3. Pada paragraf ketiga kalimat ketiga disebutkan bahwa kesalahan akibat faktor karatan menyebabkan keseimbangan berubah melewati batas toleransi dengan selisih sebesar 20 gram untuk timbangan 5 kilogram, artinya persentase ketidakpastian relatifnya adalah ....

☐ 0,25%
☐ 2,50%
☐ 0,40%
☐ 4,00%

Alasan: _____

4. Seseorang membeli telur sebanyak 5 kg dengan harga per kilogramnya Rp24.000,00. Telur tersebut ditimbang dengan menggunakan timbangan berkarat seperti yang disebutkan pada soal nomor 3. Maka, kerugian yang ditanggung pembeli akibat kesalahan pengukuran tersebut adalah ....

☐ Rp300
☐ Rp3.000
☐ Rp480
☐ Rp4.800

Alasan: _____

5. Kalian adalah seorang pedagang sukses yang telah memahami konsep pengukuran dalam fisika. Bagaimana kalian harus bersikap terkait pengukuran? Jelaskan alasannya!

Sikap: _____
Alasan: _____



## Pengayaan

Kalian sudah mencoba melakukan kegiatan pengukuran. Bagaimana pengukuran dapat bermanfaat pada bidang kimia dan biologi? Cobalah lakukan aktivitas pengukuran pada bidang biologi dan kimia berikut!

### 1. Bagaimana penerapan pengukuran dalam konteks ilmu biologi?

Pengukuran tidak terlepas dari kehidupan kita, termasuk ketika kalian belajar tentang makhluk hidup. Petani lele harus mengukur panjang dan diameter lele yang tepat ketika melakukan pemanenan agar tidak rugi, karena pembeli lele yang umumnya pedagang pecel lele lebih memilih ukuran lele yang tidak terlalu besar untuk mendapatkan untung yang besar. Begitu pula petani mutiara mengukur diameter mutiara sebagai salah satu pertimbangan harga mutiara. Semakin lama proses pembentukan mutiara maka semakin besar mutiaranya dan semakin mahal harganya.

Mari kita coba melakukan pengukuran dalam percobaan pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap pertumbuhan tanaman berikut ini.

**Alat dan Bahan:**

1. tiga buah gelas transparan
2. kapas
3. spidol
4. biji kacang hijau atau biji kacang lainnya yang mudah didapat
5. penggaris

**Langkah Kerja:**

1. Tuliskan huruf A, B, dan C pada masing-masing gelas.
2. Letakkan kapas yang sudah dicelupkan ke dalam air pada dasar masing-masing gelas.
3. Letakkan 5 biji kacang di atas kapas pada masing-masing gelas.
4. Letakkan gelas A pada ruangan tertutup (tidak terkena sinar matahari), gelas B di bawah naungan pohon, dan gelas C di tempat terbuka yang mendapat sinar matahari sepanjang hari.
5. Ukurlah tinggi kecambah setiap hari pada masing-masing gelas selama 1 minggu dengan menggunakan penggaris. Catat hasilnya!
6. Tampilkan dalam bentuk grafik pertambahan tinggi tanaman setiap hari! Apa yang dapat kalian simpulkan?

## 2. Bagaimana penerapan pengukuran dalam konteks ilmu kimia?

Pengukuran dalam kimia berhubungan dengan penggunaan alat-alat ukur massa dan volume. Alat ukur ini digolongkan menjadi dua jenis, yaitu alat ukur kualitatif dan kuantitatif. Neraca 4 lengan dengan ketelitian 3 desimal bersifat kualitatif, sementara neraca analitik dengan tingkat ketelitian 4 desimal bersifat kuantitatif. Demikian juga alat ukur volume ada dua jenis, yaitu alat ukur dengan ketelitian rendah (gelas ukur, pipet ukur) dan ketelitian tinggi (labu ukur, buret, pipet gondok, pipet volumetrik). Bagaimana cara menggunakan alat ukur massa dan volume ini?

Kalian telah mempelajari bahwa massa jenis atau densitas adalah salah satu besaran turunan. Massa jenis merupakan perbandingan massa terhadap volume suatu zat. Simbol massa jenis adalah ρ.

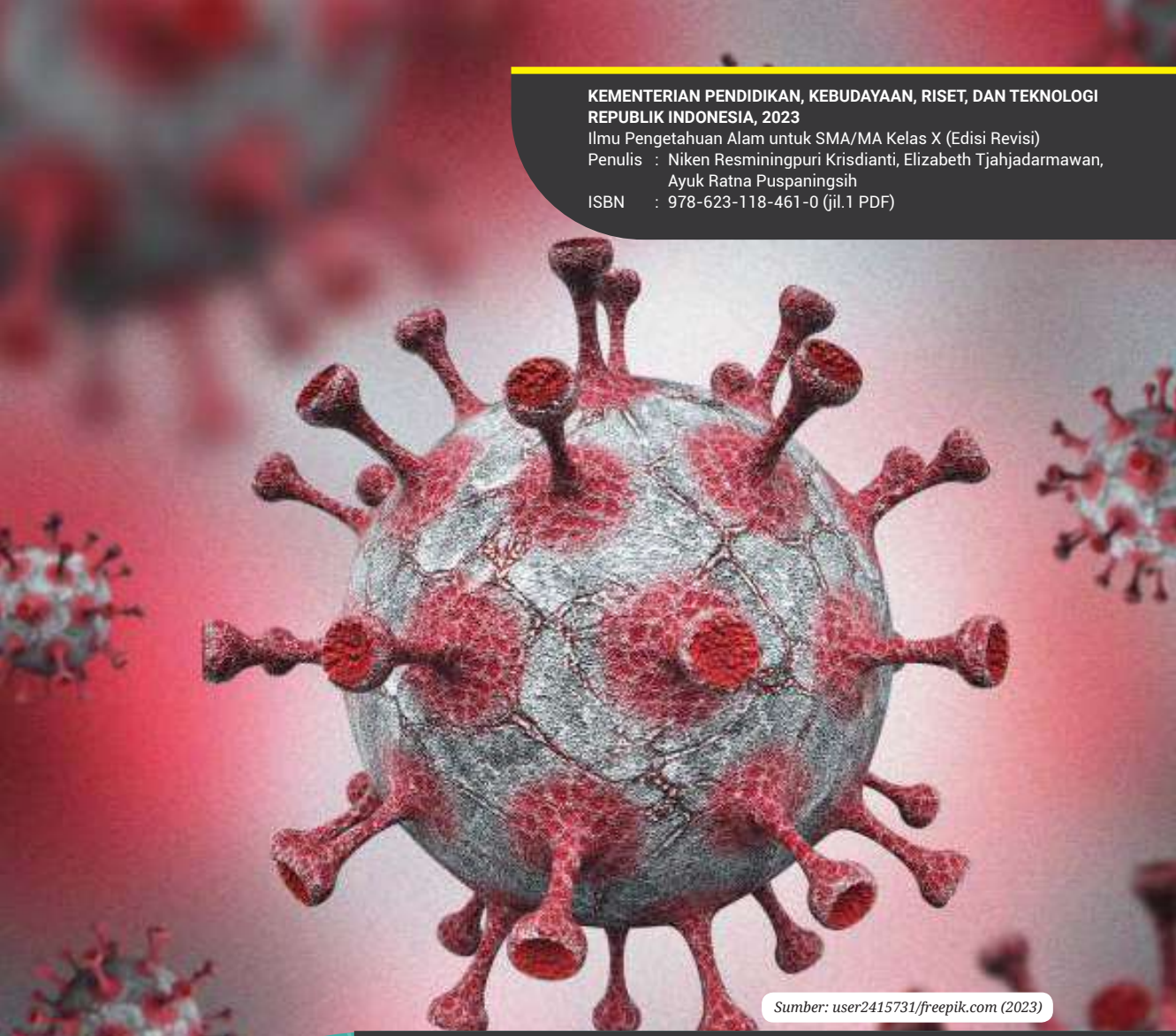
Dalam kehidupan sehari-hari, massa jenis berguna untuk meng-identifikasi antara zat yang satu dengan zat lainnya, misalnya menguji kemurnian suatu campuran bahan. Mengapa demikian? Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Pada percobaan berikut ini, kalian akan membuat larutan asam asetat atau cuka dengan konsentrasi 10% volume dari larutan cuka dapur yang konsentrasinya 25% volume. Setelah itu, kalian akan menentukan massa jenis larutan cuka 10% yang telah kalian buat. Apakah arti persen di sini? Arti 10% volume adalah 10 ml cuka ditambahkan ke dalam 90 ml air menghasilkan larutan cuka sebanyak 100 ml.

Videokan cara penggunaan alat ukur untuk pembuatan larutan cuka 10% dan langkah-langkah menentukan massa jenisnya. Unggahlah video tersebut ke akun media sosial kalian untuk mendapatkan tanggapan dari teman-teman dan guru kalian.

## Ayo Berefleksi

Setelah kalian mempelajari bab ini, peranan, manfaat, atau pembelajaran apa yang dapat kalian ambil? Tuliskan pada buku latihan kalian!

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI REPUBLIK INDONESIA, 2023**
Ilmu Pengetahuan Alam untuk SMA/MA Kelas X (Edisi Revisi)
Penulis : Niken Resminingpuri Krisdianti, Elizabeth Tjahjadarmawan, Ayuk Ratna Puspaningsih
ISBN : 978-623-118-461-0 (jil.1 PDF)



*Sumber: user2415731/freepik.com (2023)*

# Bab II

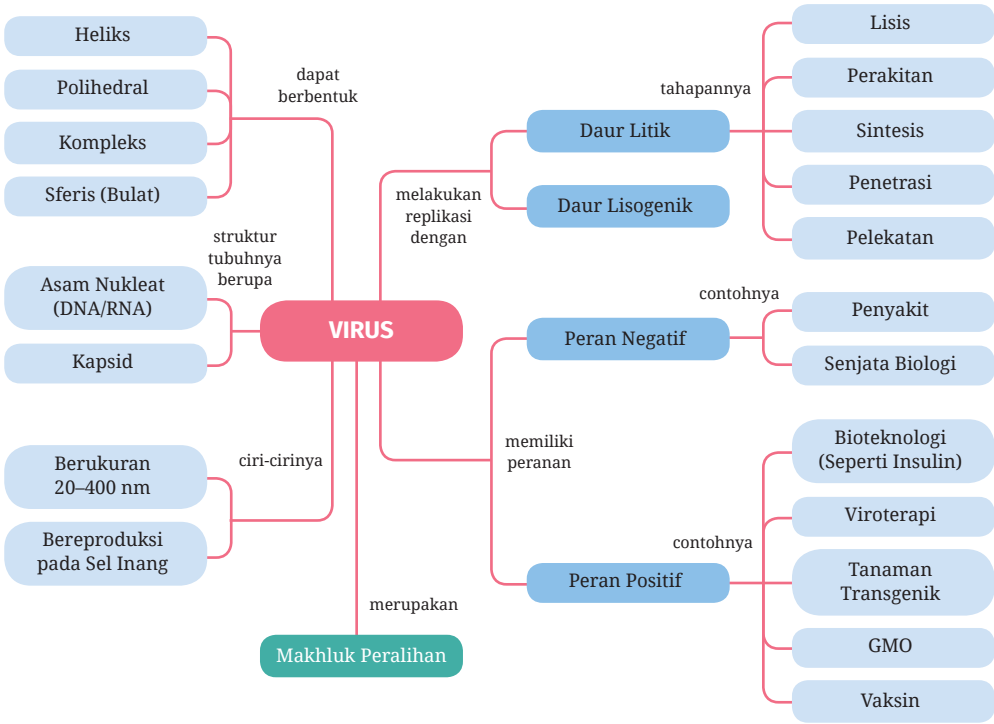
# Virus dan Peranannya

■ Bagaimana virus dapat memengaruhi kehidupan di bumi?

## Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini, kalian akan diajak untuk memahami peranan virus dalam kehidupan sehari-hari dan pemanfaatannya dalam bioteknologi sehingga mampu berperan aktif dalam menyelesaikan masalah terkait virus.

## Peta Konsep




## Kata Kunci

- virus
- replikasi
- vaksin

Kehidupan manusia mengalami perubahan drastis semenjak Desember 2019 saat *Coronavirus Disease* 2019 (Covid-19) ditemukan pertama kali di kota Wuhan, Tiongkok. Covid-19 disebabkan oleh salah satu keluarga koronavirus, yaitu *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2* (SARS-CoV-2). Covid-19 menyebar dengan cepat ke seluruh dunia sehingga pada 11 Maret 2020, WHO menyatakan keadaan ini sebagai pandemi.

Menurut data statistik pada situs *https://www.outbreak.my/ms/world* tanggal 21 Januari 2021 menyebutkan ada 98.803.816 orang di dunia yang terinfeksi, 2.118.719 di antaranya meninggal dan 70.780.399 dinyatakan sembuh. Setahun, virus ini telah mengurangi dua juta populasi manusia. Sungguh sangat berbahaya, bukan?

Pada Bab 2 ini, kalian akan belajar tentang apa itu virus, bagaimana cara virus bereproduksi, apa peranan virus dalam kehidupan di bumi, dan bagaimana solusi pencegahan penyebaran virus. Sepanjang belajar tentang bab ini, kalian akan mengerjakan proyek secara bertahap berkaitan dengan penyakit akibat virus untuk menemukan solusi pencegahan penyebaran virus itu dan mengampanyekan hasil penyelidikan kalian kepada masyarakat luas agar terhindar dari bahaya virus.



## Proyek Tahap 1

**Mengidentifikasi Kasus Virus di Daerah Setempat**

Datangilah puskesmas atau klinik terdekat. Jangan lupa menggunakan alat pelindung diri (APD). Jika situasi tidak memungkinkan, lakukan penelusuran di internet mengenai data penyakit yang disebabkan oleh virus di daerahmu. Untuk menambah informasi, kamu bisa melakukan wawancara dengan tenaga kesehatan di puskesmas atau klinik tentang penyakit tersebut atau menelaah artikel di surat kabar atau media elektronik yang terpercaya.

Selamat bekerja.

## A. Apa Itu Virus?

Virus tentu kata yang tidak asing bagi kalian. Dalam dunia komputer, virus merupakan suatu program yang dapat mengganggu kinerja program komputer. Dalam media sosial, istilah viral sering digunakan untuk menunjukkan suatu informasi yang menyebar luas dan cepat. Kata viral ini berarti memiliki sifat seperti virus, yakni mudah menyebar. Akan tetapi, yang akan kita bahas pada bab ini bukan virus pada komputer atau media sosial, melainkan virus yang memiliki material genetik yang dapat menimbulkan penyakit pada manusia dan makhluk hidup lainnya.

Semenjak pandemi Covid-19 pada akhir 2019, kata virus hampir setiap hari muncul dalam berita atau infografis di media massa. Akibat virus ini pula kalian melakukan *physical distancing* atau pembatasan jarak terhadap sesama, lebih sering tinggal di rumah, belajar secara daring dari rumah, dan jika terpaksa harus keluar rumah wajib mengenakan masker dan sering mencuci tangan dengan sabun dan air mengalir atau alternatifnya dengan *hand sanitizer* atau pembersih tangan beralkohol. Virus ini tidak kasat mata, tetapi sangat berbahaya. Seperti apakah virus itu? Apakah virus tergolong makhluk hidup? Bagaimana bentuknya?

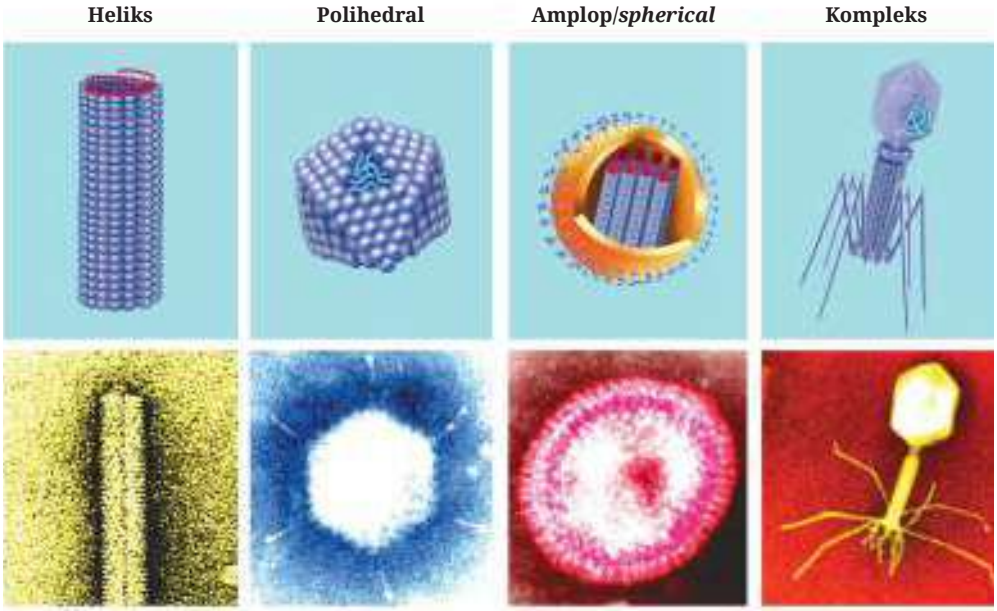
Pernahkah kalian berinteraksi dengan teman atau anggota keluargamu yang mengalami flu dan beberapa hari kemudian kalian juga mengalami gejala flu? Penularannya cepat dan tanpa kalian sadari, bukan? Seperti yang kalian ketahui bahwa flu disebabkan oleh virus. Virus memiliki ukuran yang sangat kecil, diameternya berkisar antara 20 hingga 400 nanometer (nm). Oleh karena itu, virus hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron.

Mikroskop elektron adalah alat yang menggunakan berkas elektron menggantikan cahaya untuk membentuk gambar objek mikroskopis. Elektron-elektron dipercepat di dalam ruang bermedan listrik, kemudian difokuskan menggunakan medan magnet, dan ditembuskan pada sampel. Hasil tembusannya diamati pada layar dalam bentuk gambar dengan resolusi tinggi dari objek kecil, jauh lebih kecil dari objek yang dapat dilihat dengan mikroskop cahaya.

Partikel lengkap virus, yang disebut dengan virion, terdiri atas asam nukleat yang dibungkus oleh protein pelindung yang disebut dengan kapsid. Asam nukleat memiliki peranan penting dalam proses perbanyakan diri virus pada inang. Tanpa asam nukleat, virus tidak akan bisa memerintahkan sel

inang untuk membuat bagian-bagian partikel virus. Berdasarkan jenis asam nukleat yang menyusunnya, virus dikelompokkan menjadi virus DNA dan virus RNA. Virus DNA adalah virus yang memiliki asam nukleat berupa DNA (asam deoksiribonukleat), sedangkan virus RNA adalah virus yang memiliki asam nukleat RNA (asam ribonukleat).

Kapsid tersusun atas subunit protein identik yang disebut dengan kapsomer. Beberapa virus memiliki memiliki amplop (membran lipoprotein) yang berasal dari sel inang. Bentuk virus beraneka ragam, ada yang berbentuk heliks, polihedral, amplop/*spherical*, dan kompleks (perhatikan Gambar 2.1) Contoh virus yang berbentuk heliks adalah virus mosaik tembakau (*tobacco mosaic virus*, TMV), sementara virus yang berbentuk polihedral adalah adenovirus, yang berbentuk amplop contohnya virus influenza, dan yang berbentuk kompleks contohnya bakteriofag (virus pemakan bakteri).

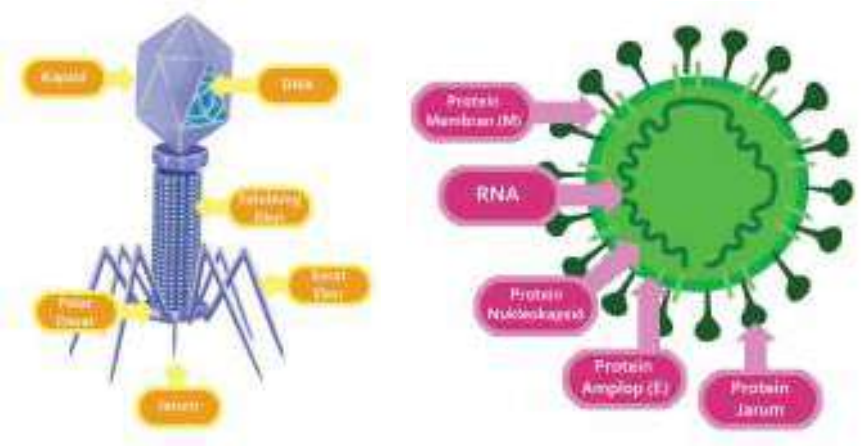



**Gambar 2.1** Bentuk Virus dan Contohnya

Berdasarkan informasi yang telah kalian pelajari, menurut kalian apakah virus merupakan sebuah sel? Dapatkah kita menyebut virus makhluk hidup? Sebelum belajar lebih lanjut, ayo lakukan Aktivitas 2.1.

## Aktivitas 2.1 Ayo Menelaah

Cobalah kalian amati gambar virus berikut, kemudian jawab pertanyaan di bawahnya!




**Gambar 2.2** Struktur Virus Bakteriofag dan Koronavirus

1. Apakah kesamaan struktur pada kedua virus tersebut?
2. Cobalah cari informasi berapa ukuran dari kedua virus tersebut!
3. Sebuah sel minimal tersusun atas membran sel, sitoplasma, asam nukleat, dan ribosom. Berdasarkan telaah struktur yang kalian lakukan, apakah virus merupakan merupakan sebuah sel? Apakah virus adalah makhluk hidup?

## Ayo Berlatih

Setelah kalian belajar tentang karakteristik virus, simaklah video tentang koronavirus pada tautan di samping.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/CV

Kemudian jawablah pertanyaan berikut.

1. Berdasarkan video tersebut, pikirkan apakah pernyataan berikut benar atau salah?

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Koronavirus adalah sel berukuran kecil. | | |
| Disebut korona karena memiliki amplop yang mengandung struktur seperti paku. | | |
| Koronavirus tergolong virus RNA. | | |

2. Setelah kalian menelaah struktur koronavirus pada video, kegiatan laboratorium manakah yang menurut kalian dapat dilakukan untuk mengidentifikasi koronavirus?

| Kegiatan Laboratorium | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Pengamatan virus menggunakan mikroskop cahaya. | | |
| Mengidentifikasi jenis protein pada struktur amplopnya. | | |
| Mengidentifikasi jenis asam nukleatnya, apakah rantai tunggal atau ganda. | | |

## B. Bagaimana Virus Bereproduksi?

Berdasarkan penjelasan pada awal bab ini, Covid-19 pertama kali diidentifikasi di kota Wuhan, Tiongkok. Dalam beberapa bulan, virus ini menyebar hingga ke seluruh dunia. Bagaimanakah cara virus memperbanyak diri dan menyebar begitu luas dan cepat?

Sebelum belajar lebih lanjut, ayo kita lakukan Aktivitas 2.2.

## Aktivitas 2.2 Ayo Menelaah

Cermatilah video tentang bagaimana koronavirus memperbanyak diri di dalam sel inang pada tautan di samping.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/NCV

Berdasarkan video tersebut, cobalah deskripsikan bagaimana koronavirus memperbanyak dirinya. Apakah koronavirus bisa memperbanyak diri di luar sel inang?

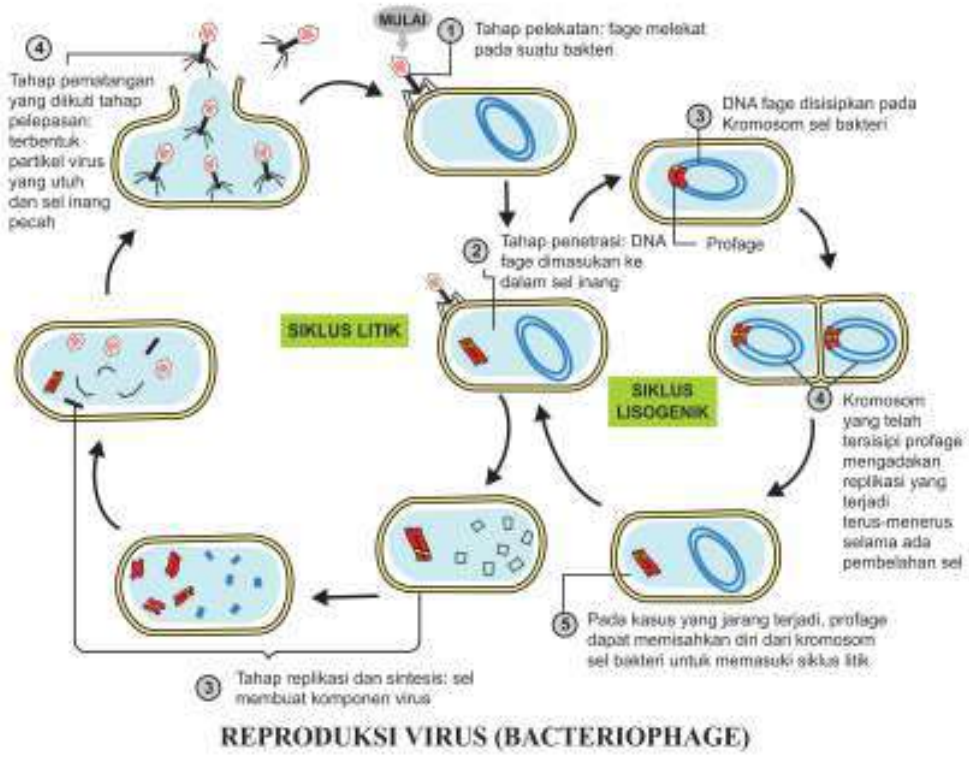
Pada Aktivitas 2.1, kalian telah mempelajari bahwa virus secara umum hanya terdiri atas asam nukleat dan protein kapsid. Hal ini menunjukkan bahwa tubuh virus bukan merupakan sebuah sel yang memiliki membran sel, sitoplasma, asam nukleat, dan ribosom. Seperti yang kalian ketahui bahwa unit terkecil dari makhluk hidup adalah sel, sedangkan virus tidak memiliki komponen sel selain asam nukleat. Dengan demikian, dilihat dari strukturnya virus bukanlah makhluk hidup.

Satu-satunya ciri makhluk hidup yang dimiliki oleh virus adalah kemampuan bereproduksi. Virus dapat memperbanyak diri hanya jika berada di dalam sel inang. Struktur tubuh virus pada bagian luar memiliki protein reseptor. Virus dapat menginfeksi apabila struktur tersebut cocok dengan protein reseptor pada membran sel inang.

Proses memperbanyak diri pada virus disebut dengan replikasi. Replikasi virus terdiri atas siklus litik dan lisogenik. Virus melakukan siklus litik dan lisogenik bergantung pada virulensi atau ketahanan sel inang terhadap virus penginfeksi. Jika sel inang memiliki ketahanan yang lemah maka virus dapat melakukan siklus litik. Sebaliknya, jika sel inang memiliki ketahanan yang tinggi maka virus melakukan siklus lisogenik.

Pada siklus litik, perkembangbiakan virus diawali dengan tahap melekatnya virus pada sel inang, kemudian penetrasi asam nukleat virus ke dalam sel inang. Tahap selanjutnya asam nukleat virus akan memerintah sel inang untuk menyintesis asam nukleat dan bagian tubuh virus untuk dirakit menjadi tubuh virus baru. Akhir siklus ini, sel inang pecah dan mengeluarkan banyak virus baru.

Berbeda dengan siklus litik, pada siklus lisogenik sel inang akan tetap membawa asam nukleat virus meskipun sel inang memperbanyak dirinya. Siklus lisogenik ini dapat beralih ke siklus litik. Berikut adalah gambar proses replikasi virus.




**Gambar 2.3** Tahapan replikasi virus terbagi atas siklus litik dan lisogenik.

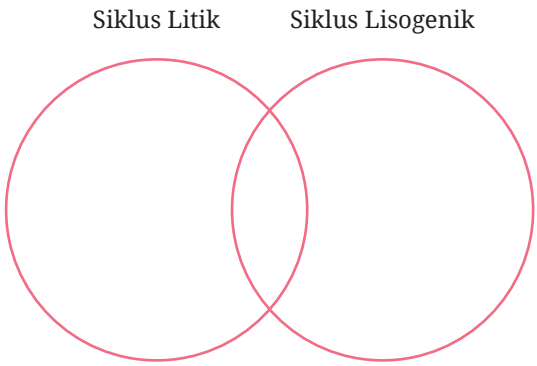
## Ayo Berlatih

Setelah kalian belajar tentang replikasi virus, cobalah jawab pertanyaan berikut.

1. Urutkanlah proses tahapan proses replikasi virus berikut!

1. Tahap pelekatan
2. Tahap perakitan
3. Tahap sintesis
4. Tahap sel lisis
5. Tahap penetrasi

2. Dilihat dari tahapannya, siklus apakah yang terjadi?
3. Identifikasilah persamaan dan perbedaan siklus litik dan lisogenik dengan menggunakan diagram venn berikut!




4. Berikut adalah penggalan berita hoaks tentang bagaimana korona-virus memperbanyak diri.

> Koronavirus yang tanpa sengaja menempel pada kulit tangan, akan menginfeksi sel-sel pada kulit tangan. Ketika koronavirus menempel pada permukaan sel inang, virus menginjeksikan RNA ke dalam sel inang dan memerintahkan sel inang untuk memproduksi partikel virus. Itulah mengapa kita harus mencuci tangan agar virus tidak menginfeksi sel kulit.

a. Berdasarkan paragraf tersebut, kalimat keberapakah yang benar?

b. Menurut kalian, kegiatan laboratorium manakah yang dapat membuktikan bahwa mencuci tangan dapat mengurangi infeksi virus?

| | |
|---|---|
| Mengamati sel kulit tangan yang terpapar koronavirus dan sel kulit tangan yang telah dicuci dengan sabun menggunakan mikroskop elektron. | |
| Membandingkan jumlah yang tertular Covid-19 antara kelompok orang yang tidak mencuci tangan dan yang selalu mencuci tangan setelah kontak dengan penderita Covid-19. | |
| Mencampur koronavirus dengan air sabun kemudian mengecek strukturnya di bawah mikroskop. | |



## Proyek Tahap 2

**Menelaah cara virus bereproduksi**

Setelah kalian mengidentifikasi penyakit-penyakit akibat virus yang terjadi di daerah kalian pada Proyek Tahap 1, pilihlah salah satu penyakit untuk kalian telaah karakteristik dan cara virus tersebut berkembang biak dan menyebar. Kalian dapat menelaah artikel atau video yang terpercaya di internet untuk menemukan jawabannya.

## C. Peranan Virus

Pada pelaksanaan kegiatan Proyek Tahap 1, kalian menemukan bahwa banyak penyakit yang disebabkan oleh virus, seperti Covid-19. Bagaimanakah peran virus pada hewan dan tumbuhan? Apakah ada peranan virus yang menguntungkan manusia?

Sebelum belajar lebih lanjut, mari kita lakukan Aktivitas 2.3.

## Aktivitas 2.3 Ayo Menelaah

Berikut adalah intisari dari artikel "*The Good that Viruses Do*" yang ditulis oleh Mario Mietzsch and Mavis Agbandje-McKenna.

> Masyarakat luas memiliki persepsi negatif terhadap virus. Virus selalu dikaitkan dengan penyakit, infeksi, kematian, dan wabah penyakit. Namun, sesungguhnya para ahli virologi menemukan bahwa virus dapat dimanfaatkan dalam kesehatan manusia. Saat ini telah berkembang viroterapi, yaitu pengobatan penyakit dengan menggunakan virus. Virus onkolitik contohnya, virus ini dapat melisiskan sel kanker tanpa merusak sel non-kanker.
>
> Virus juga dapat dimanfaatkan sebagai vektor pembawa gen untuk memperbaiki gen abnormal pada terapi gen atau sel. Selain itu, virus digunakan dalam banyak studi genetik untuk menentukan mekanisme molekuler, digunakan sebagai insektisida, dan telah dilaporkan meningkatkan toleransi kekeringan pada beberapa tanaman. Jadi, sesungguhnya banyak hal "baik" dalam pemanfaatan virus yang dapat dilakukan.

Untuk memperoleh informasi lebih detail tentang artikel ini, silakan membacanya pada tautan di samping.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/VD

Berdasarkan kajian tentang virus tersebut, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Jelaskan "kebaikan" apa yang saja yang dapat virus lakukan!
2. Dari sekian kebaikan yang dilakukan virus, pilihlah satu yang menarik untukmu, kemudian jelaskan manfaatnya bagi kehidupan manusia, hewan, tumbuhan, atau ekosistem!

Ketika kalian mendengar kata virus, yang terlintas pastilah penyakit menular dan mematikan, apalagi semenjak masa pandemi Covid-19. Begitu pula hasil penyelidikanmu pada Proyek Tahap 1, kalian mungkin menemukan berbagai penyakit yang disebabkan oleh virus pada manusia, seperti demam berdarah, polio, flu, cacar, dan hepatitis. Selain pada manusia, virus juga menyebabkan penyakit pada tumbuhan seperti mosaik dan tungro, serta hewan seperti rabies dan tetelo.

Sesungguhnya virus juga bermanfaat untuk kehidupan manusia. Baculovirus adalah virus yang menyerang serangga dan artropoda sehingga dimanfaatkan sebagai biopestisida di lahan pertanian. Kemampuan virus dalam melemahkan inangnya dimanfaatkan dalam pengobatan biologis untuk melemahkan atau membunuh bakteri, jamur, atau protozoa yang bersifat patogen.

Pada subtopik replikasi virus, kalian telah mempelajari saat virus menginfeksi sel inang, virus memasukkan asam nukleatnya ke dalam sel inang. Kemampuan ini dapat dimanfaatkan dalam proses rekayasa genetika pada pembuatan insulin dan terapi gen. Virus penyebab kanker pada sel-sel penghasil insulin dicangkokkan dalam bakteri, sehingga bakteri ini berkembang biak dan menghasilkan insulin. Sedangkan pada terapi gen, virus dimasukkan gen terapeutik agar virus mengirimkan gen ini ke sel target untuk memulihkan fungsi gen yang rusak.

Dalam dunia kesehatan, virus dapat dijadikan sebagai agen antikanker dan bahan pembuat vaksin. Virus onkolitik digunakan sebagai agen antikanker. Virus tersebut selektif untuk memilih sel kanker sehingga menginfeksi dan merusak sel kanker tanpa merusak sel yang sehat.

Pada pembuatan vaksin, diperlukan virus inaktif atau bagian struktur tertentu pada virus sebagai protein khusus yang akan memacu terbentuknya respons kekebalan tubuh untuk melawan suatu penyakit. Ketika tubuh terpapar oleh virus yang dilemahkan ini, limfosit akan aktif dan membentuk antibodi untuk mengikat virus agar tidak menginfeksi sel targetnya. Uniknya, sistem imun kita akan mengingat virus yang pernah masuk, sehingga jika terpapar yang kedua kalinya, tubuh akan lebih cepat mengatasi infeksi virus tersebut.

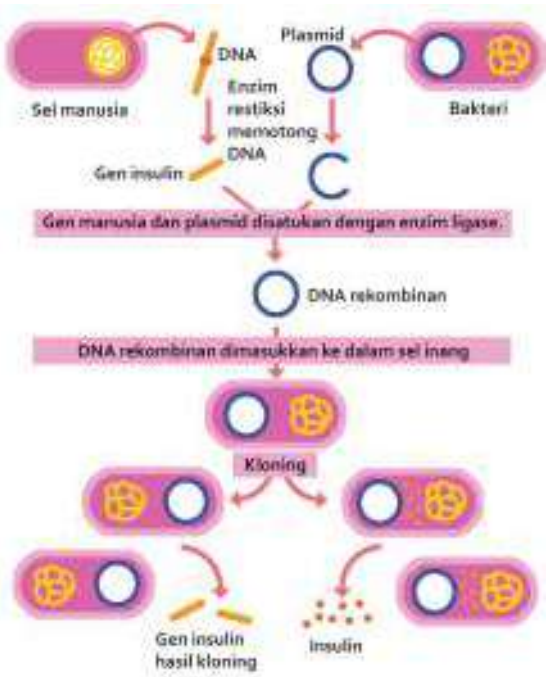
## Ayo Berlatih

Setelah kalian belajar tentang peranan virus, cobalah jawab pertanyaan berikut!

1. Jodohkan nama virus dan penyakit yang benar!

| | |
|---|---|
| Polio | Rhabdovirus |
| AIDS | TMV |
| Rabies | Virus Dengue |
| Mosaik | HIV |
| Demam Berdarah | Poliovirus |

2. Melalui bioteknologi, insulin dapat dihasilkan dari sel bakteri. Berikut adalah bagan pembentukan insulin.




**Gambar 2.4** Bagan Pembentukan Insulin

Berdasarkan bagan tersebut, pada proses manakah kita bisa memanfaatkan virus dalam pembuatan insulin?

3. Bacalah intisari artikel yang berjudul "Efikasi Vaksin Sinovac 65,3 Persen, Bagaimana Cara Menghitungnya?" yang ditulis oleh Holy Kartika Nurwigati Sumartiningtyas berikut ini.

---

Vaksin Covid-19 Sinovac secara resmi diizinkan diguna-kan di Indonesia. Nilai efikasi vaksin Sinovac di Bandung sebesar 65,3%. Hal ini berbeda dengan nilai efikasi vaksin Sinovac di Brasil, yaitu sebesar 78% dan di Turki sebesar 91,75%. Bagaimana cara menghitung nilai efikasi vaksin Sinovac di Bandung sehingga nilainya berbeda dengan negara lainnya?

Uji vaksin Sinovac di Bandung melibatkan 1.600 orang, terdapat 800 orang yang menerima vaksin dan 800 orang mendapatkan plasebo (vaksin kosong). Pada kelompok yang menerima vaksin, ada 26 orang yang terinfeksi Covid-19 atau sekitar 3,25%, sedangkan dari kelompok plasebo ada 75 orang yang terkena Covid-19 atau 9,4%. Nilai efikasinya adalah $\frac{(0,094-0,0325)}{0,094}\times 100\% = 65,3\%$ .

Dengan demikian, yang menentukan besaran nilai efikasi adalah perbandingan antara kelompok yang divaksin dengan yang tidak.

---

Untuk memperoleh informasi lebih detail tentang artikel ini, silakan membaca artikel pada tautan di samping.

Berdasarkan artikel tersebut, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Apakah variabel terikat dan variabel bebas dalam penelitian tersebut?

https://buku.kemdikbud.go.id/s/VS

2. Jika seandainya dilakukan uji efikasi vaksin Sinovac di suatu daerah dengan pengujian kepada 500 orang yang menerima vaksin dan 500 orang sebagai pembanding, lalu ditemukan 20 orang yang menerima vaksin terinfeksi Covid-19, sementara dari kelompok pembanding 100 orang terinfeksi, berapakah efikasi vaksin tersebut?

3. Tentukan apakah aktivitas penelitian dalam menguji efikasi virus berikut ini benar atau salah!

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Orang yang akan diberikan vaksin harus dalam kondisi sehat. | | |
| Jumlah orang yang diberikan vaksin boleh lebih banyak dibandingkan dengan kelompok pembanding. | | |

## D. Cara Mencegah Penyebaran Virus

Sebagaimana telah disampaikan di materi sebelumnya, virus Covid-19 menyebar dengan sangat cepat ke seluruh dunia. Bagaimana cara virus menyebarkan dirinya dan bagaimana cara pencegahannya? Sebelum belajar lebih lanjut, mari kita lakukan Aktivitas 2.4.

### Aktivitas 2.4 Ayo Menelaah

Perhatikan anjuran pada Gambar 2.5, kemudian jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Bagaimana cara koronavirus menyebar?
2. Mengapa mencuci tangan dengan sabun dapat mengurangi penyebaran koronavirus?
3. Mengapa penggunaan masker disarankan dalam pencegahan penularan Covid-19?

4. Apa fungsi mengonsumsi gizi seimbang dalam pencegahan penularan Covid-19?
5. Dari sekian anjuran, adakah anjuran lain yang dapat kalian sampaikan dalam pencegahan penularan Covid-19?




**Gambar 2.5** Lima Cara Mencegah Penularan Covid-19

Setiap virus menyebar dengan caranya tertentu. Virus dengue yang menyebabkan demam berdarah, menyebar dengan perantara nyamuk *Aedes aegypti*. Virus varicella-zoster (VZV) yang menyebabkan cacar, menyebar melalui sentuhan dengan penderita, percikan cairan tubuh penderita, atau sentuhan terhadap benda yang sebelumnya disentuh oleh penderita. Adapun HIV menyebar melalui injeksi langsung ke aliran darah, kontak membran mukosa atau jaringan yang terluka dengan cairan tubuh tertentu (darah, asi, dan semen) penderita.

Khusus untuk koronavirus yang melanda dunia saat pandemi, menyebar melalui droplet yang dikeluarkan oleh penderita, melalui bersin, batuk, atau saat penderita berbicara. Penyebarannya sangat cepat dan mudah menginfeksi tanpa disadari oleh pembawanya. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi penyebaran koronavirus ini.

Cara pertama yaitu tindakan yang bersifat fisik. Koronavirus menyebar melalui droplet penderita yang akan jatuh beberapa meter dari penderita, sehingga disarankan agar memberi jarak sekitar dua meter ketika berinteraksi dengan seseorang. Virus ini masuk melalui saluran pernapasan dan mulut, sehingga untuk mengurangi kesempatan tersebut disarankan menggunakan masker yang menutupi area hidung hingga dagu. Itu pulalah alasan mengapa kita dianjurkan untuk tidak menyentuh area wajah dengan tangan, karena droplet yang keluar dari penderita dapat jatuh mengenai benda-benda di dekat penderita kemudian tanpa sengaja kita sentuh.

Cara kedua adalah tindakan yang menggunakan bahan kimia. Seperti yang telah kalian pelajari, beberapa virus memiliki struktur amplop. Salah satu cara agar virus tidak dapat menginfeksi sel inang adalah dengan merusak struktur amplop tersebut. Penggunaan sabun dan air dapat merusak struktur amplop pada virus. Sabun mengandung zat mirip lemak yang disebut amfifilik yang secara struktural sangat mirip dengan lipid di amplop virus. Molekul sabun bersaing dengan lipid di amplop virus sehingga mampu merusak amplop virus. Selain itu, sabun juga dapat melepaskan virus yang menempel pada kulit. Jika tidak tersedia sabun dan air, *hand sanitizer* dapat juga merusak struktur amplop virus karena mengandung alkohol (biasanya 70%) dan zat lain yang dapat merusak selubung protein virus.

Cara pencegahan yang ketiga bersifat biologis. Untuk bertahan dari serangan penyakit, tubuh manusia memiliki sistem kekebalan tubuh. Sistem kekebalan spesifik pada tubuh manusia memiliki kemampuan pertahanan yang kuat untuk menghadapi patogen tertentu. Tubuh mampu mengingat patogen tertentu yang pernah menyerang sehingga dapat segera membentuk antibodi untuk melawannya. Dengan demikian, patogen tersebut tidak bisa menjangkit ke dalam tubuh untuk kali kedua. Dalam memberikan reaksi terhadap serangan dari patogen tersebut, sistem kekebalan tubuh akan mengaktifkan limfosit dan memproduksi antibodi. Inilah mengapa vaksin diberikan kepada manusia.

Ada dua jenis vaksin, yaitu *attenuated whole-agent vaccines* yang berasal dari patogen hidup yang dilemahkan dan *inactivated whole-agent vaccines* yang berasal dari patogen yang telah dihancurkan kemampuan infeksinya tetapi mampu menstimulus antibodi. Vaksin merangsang sistem kekebalan tubuh manusia untuk mengingat patogen tersebut dan menghasilkan antibodi, sehingga ketika tubuh diserang oleh patogen tersebut, tubuh telah memiliki persiapan untuk melawannya. Selain itu, anjuran untuk makan makanan seimbang, istirahat yang cukup, menghindari stres, dan minum vitamin juga merupakan cara untuk meningkatkan sistem kekebalan tubuh manusia.

Tubuh yang telah terinfeksi oleh virus dapat diobati dengan memberikan zat antivirus yang dapat menghambat perkembangbiakan virus. Acyclovir merupakan salah satu zat antivirus yang menghambat proses replikasi virus herpes simpleks (HSV) penyebab penyakit herpes. Acyclovir menghambat proses sintesis DNA virus pada sel inangnya sehingga menghambat perbanyakan virus.

Pemberian antibodi secara langsung juga dapat dilakukan untuk mengatasi penyakit akibat virus. Seperti dalam penerapan terapi plasma darah pada pasien Covid-19. Plasma darah yang digunakan adalah milik pasien Covid-19 yang telah sembuh, sehingga di dalam plasma darah tersebut telah memiliki antibodi untuk melawan koronavirus. Pemberian plasma darah ini akan membantu pasien Covid-19 lain dalam melawan koronavirus.

## Ayo Berlatih

Setelah kalian belajar tentang cara penyebaran virus, cobalah jawab pertanyaan-pertanyaan berikut!

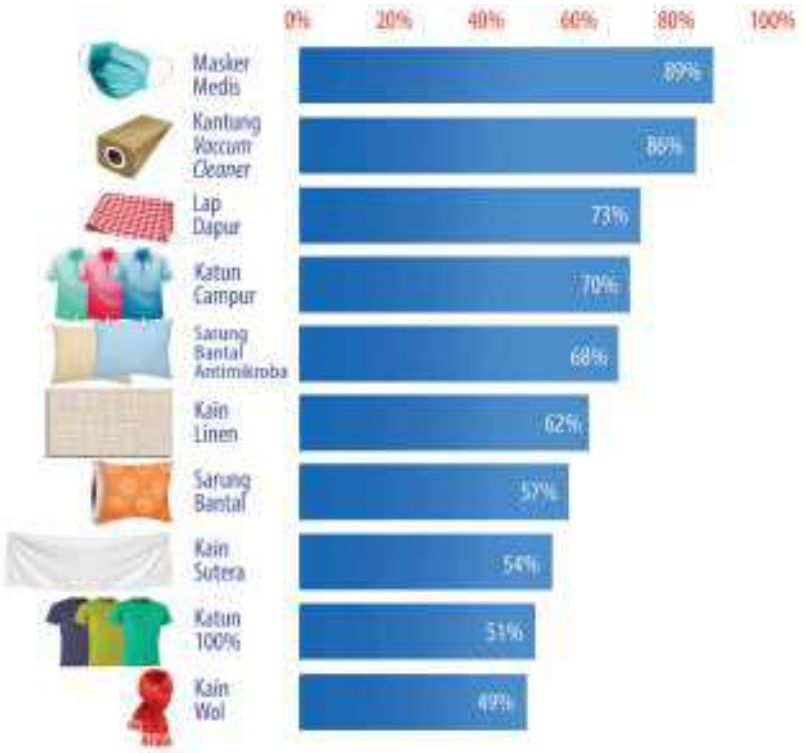
1. Perhatikan gambar salah satu produk *hand sanitizer* yang ada di pasaran berikut ini! Menurut kalian, apakah *hand sanitizer* ini baik digunakan untuk mencegah penularan virus?




**Gambar 2.6** Salah satu produk *hand sanitizer*

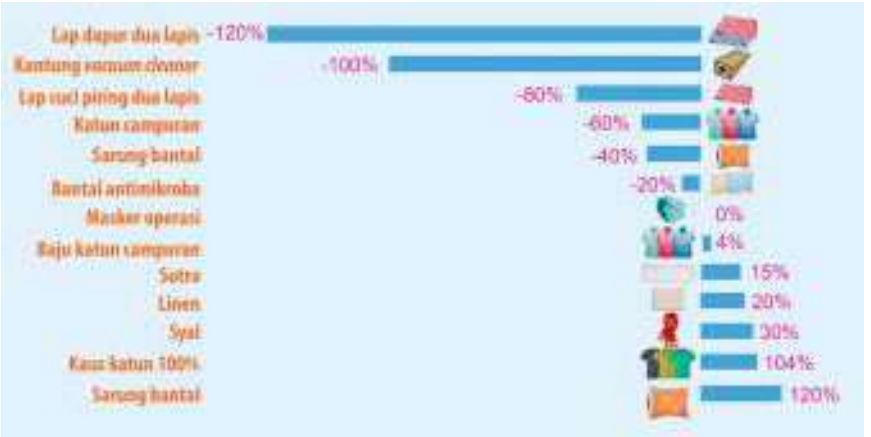
2. Bacalah intisari artikel yang berjudul "*What Are the Best Materials for Making DIY Masks?*" yang ditulis oleh Paddy Robertson berikut!

Peneliti dari Universitas Cambridge menguji berbagai jenis kain yang digunakan oleh rumah tangga untuk membuat masker. Untuk mengukur efektivitas bahan, peneliti menggunakan bakteriofag MS2 yang berukuran 0,02 mikron (lima kali lebih kecil dari koronavirus). Gambar berikut adalah hasil penelitiannya.




**Gambar 2.7** Efektivitas beberapa bahan kain terhadap partikel berukuran 0,02 mikron.

Selain itu, peneliti melakukan uji kemampuan bernapas pada masing-masing kain. Hal ini penting untuk kenyamanan pengguna masker sehingga memengaruhi durasi penggunaan masker tersebut. Berikut adalah hasil penelitiannya.




**Gambar 2.8** Perbandingan kemampuan bernapas antara masker medis dan beberapa jenis kain.

Untuk memperoleh informasi lebih detail tentang artikel ini, silakan membacanya pada tautan di samping.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/MK

Berdasarkan artikel tersebut, jawablah pertanyaan berikut!

a. Buatlah urutan jenis kain dari yang terburuk hingga yang terbaik yang dapat menghalangi koronavirus masuk ke sistem pernapasan manusia!

b. Menurut kamu, dilihat dari kenyamanan bernapas dan kemampuan menghalangi koronavirus, jenis kain apakah yang paling tepat? Mengapa demikian?

c. Jika kamu diberikan dua kain yang tidak diketahui ukuran seratnya, tentukan benar atau salah aktivitas yang dilakukan untuk mengukur kemampuan memfilter koronavirus!

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Mengukur diameter serat kain. | | |
| Membandingkan jumlah virus yang tersaring di antara dua kain tersebut. | | |
| Membandingkan ukuran koronavirus dengan pori-pori pada tiap kain. | | |



## Proyek Tahap 3

**Mengampanyekan solusi pencegahan virus**

Setelah menyelesaikan Proyek Tahap 2, telaahlah artikel terpercaya berkaitan dengan virus yang kalian pilih untuk menemukan bagaimana virus tersebut menyebar. Dari hasil telaah kalian, berilah solusi bagaimana cara pencegahan penularannya. Laporkan dan kampanyekan hasil proyekmu dalam bentuk tulisan atau lisan di media sosialmu. Selamat bekerja.



## Intisari

1. Virus bukan merupakan makhluk hidup.
2. Virus tersusun atas asam nukleat dan selubung protein (kapsid).
3. Virus hanya mampu bereproduksi pada sel inangnya melalui fase litik atau lisogenik.
4. Meskipun virus menyebabkan banyak penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan, virus juga dapat bermanfaat dalam terapi gen, pembentukan insulin, pembuatan vaksin, dan biopestisida.
5. Virus menyebar dengan caranya masing-masing, ada yang melalui hewan perantara seperti virus dengue, melalui sentuhan seperti virus cacar, melalui droplet seperti koronavirus, dan sebagainya.
6. Virus dapat dicegah penyebarannya dengan tiga cara, yaitu secara fisik seperti mengenakan masker, menggunakan zat kimia seperti sabun dan *hand sanitizer*, dan secara biologis dengan pemberian vaksin.

## Ayo Cek Pemahaman

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Pilihlah pernyataan yang benar tentang virus!
   - ☐ Virus hanya dapat bereproduksi dalam sel inang.
   - ☐ Virus merupakan salah satu makhluk hidup.
   - ☐ Virus bukan merupakan sebuah sel.
   - ☐ Virus tersusun atas materi genetik dan kapsid.
2. Jodohkanlah gambar fase dengan namanya yang benar pada siklus litik!



Fase Pelekatan



Fase Lisis



Fase Injeksi

3. Tentukan benar atau salah penjelasan tentang peranan virus!

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Tungro adalah penyakit yang menyerang tanaman padi yang disebabkan oleh virus tungro. | | |
| Virus NCD menyebabkan penyakit tetelo pada ayam dan itik. | | |
| Cikungunya adalah penyakit demam yang disebabkan oleh virus dengue. | | |
| Virus dapat menghasilkan insulin dengan merekayasa materi genetiknya. | | |

4. Perhatikan poster berikut!




**Gambar 2.9** Beragam cara isolasi mandiri guna menghindari penyebaran Covid-19

a. Berdasarkan poster di atas, tentukan benar atau salah pernyataan berikut!

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Mengatur jarak maksimal dua meter dapat mengurangi penyebaran koronavirus. | | |
| Menggunakan gelas bergiliran tidak dianjurkan. | | |
| Tinggal dalam ruangan ber-AC dapat mengurangi penyebaran koronavirus. | | |

b. Seorang peneliti meneliti sebaran droplet ketika seseorang berbicara, bersin, dan batuk. Dalam penelitiannya, dia juga mengamati sebaran droplet ketika orang tersebut tidak menggunakan pelindung, menggunakan masker, pelindung wajah (*face shield*), dan kaca penyekat.

Berdasarkan informasi tersebut, tentukan apakah pernyataan berikut benar atau salah!

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Peneliti bermaksud membandingkan efektivitas masker, pelindung wajah, dan kaca penyekat. | | |
| Peneliti tersebut meneliti perbandingan sebaran droplet apabila seseorang menggunakan pelindung dan tidak menggunakan sama sekali. | | |
| Data penelitian tersebut dapat digunakan untuk menentukan pelindung yang tepat untuk mengurangi penyebaran Covid-19. | | |

c. Penelitian lanjutan seperti apakah yang dapat dilakukan oleh peneliti tersebut?



## Pengayaan

Baru-baru ini virus telah digunakan untuk pengobatan tumor dan kanker. Virus ini dikenal sebagai virus onkolitik. Virus onkolitik merupakan pilihan pengobatan imunoterapi yang menggunakan virus untuk menginfeksi dan menghancurkan sel kanker. Infeksi oleh virus tertentu dapat memengaruhi perkembangan kanker tertentu, seperti virus hepatitis B (HBV) pada kanker hati dan virus papiloma manusia (HPV) pada kanker serviks dan kanker kepala dan leher.

Virus alami ini dapat direkayasa untuk memberi khasiat yang menguntungkan, termasuk mengurangi kemampuan mereka untuk menginfeksi sel sehat dan menghasilkan molekul peningkat kekebalan setelah mereka menginfeksi sel tumor. Setelah infeksi, virus onkolitik ini dapat menyebabkan sel kanker lisis sehingga membunuh sel kanker dan melepaskan antigen kanker. Antigen ini kemudian merangsang respons kekebalan yang dapat mencari dan menghilangkan sel tumor yang tersisa di dekatnya dan berpotensi tumbuh di tempat lain di dalam tubuh.

Virus onkolitik (hijau) di dalam sel sehat, tidak dapat bereplikasi dan meninggalkan sel tanpa membahayakan.



Virus onkolitik di dalam sel kanker, bereplikasi hingga sel lisis dan menghasilkan antigen kanker.



**Gambar 2.10** Pengaruh virus onkolitik terhadap sel sehat dan sel kanker
*Sumber: CaptainVivacious/wikimedia.org (2013)*

Diskusikan dalam kelompok kecil, bagaimana virus onkolitik dapat menyembuhkan kanker? Adakah dampak negatif dari penggunaan virus onkolitik?



## Ayo Berefleksi

Setelah kalian mempelajari Bab II, pembelajaran apa yang dapat kalian dapat? Bagaimana sebaiknya kalian bersikap dan berperilaku terhadap pandemi Covid-19?

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI**
**REPUBLIK INDONESIA, 2023**
Ilmu Pengetahuan Alam untuk SMA/MA Kelas X (Edisi Revisi)
Penulis : Niken Resminingpuri Krisdianti, Elizabeth Tjahjadarmawan, Ayuk Ratna Puspaningsih
ISBN : 978-623-118-461-0 (jil.1 PDF)



*Sumber: freepik/freepik.com (2023)*

# Bab III

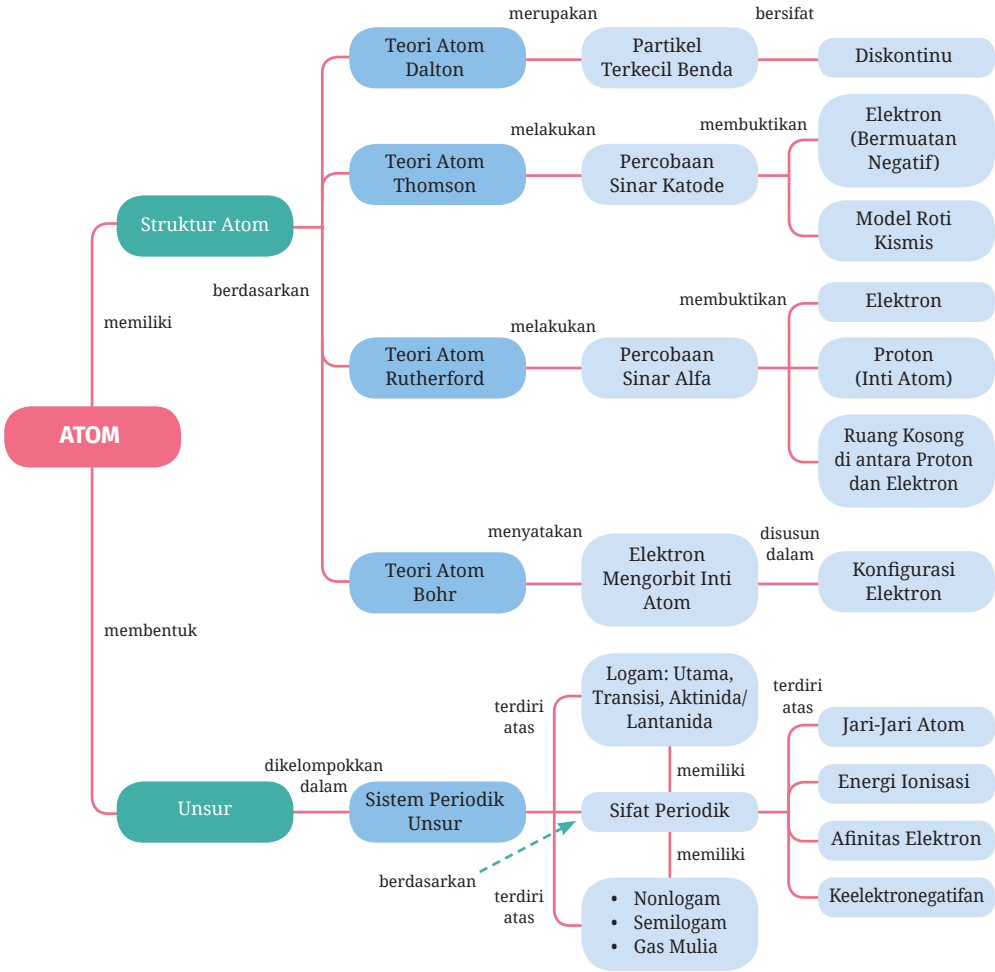
# Struktur Atom
## Fakta di Balik Materi

■ Bagaimana partikel subatom menghasilkan energi sehingga bisa menggerakkan kendaraan listrik?

## Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini kalian akan berlatih menjadi ilmuwan yang menyelidiki dunia atom lebih dalam berdasarkan fakta ilmiah untuk membuktikan bahwa atom bukanlah partikel terkecil suatu materi, struktur dan sifat atom unsur-unsur, serta keteraturan dalam sifat-sifat atom pembentuk unsur.

## Peta Konsep




## Kata Kunci

- struktur atom
- jari-jari atom
- energi ionisasi
- afinitas elektron
- keelektronegatifan

Tren berkendaraan yang ramah lingkungan tengah menjamur di berbagai belahan dunia termasuk Indonesia. Berbagai jenis kendaraan listrik mulai banyak dijumpai di jalan raya, baik roda dua maupun roda empat. Kendaraan listrik umumnya menggunakan sumber energi dari baterai litium. Jenis baterai kendaraan listrik lainnya adalah baterai nikel yang menggunakan bahan baku nikel laterit. Penjelasan tentang mengapa litium dan nikel dapat bekerja sebagai sumber energi listrik sangat berkaitan dengan sifat dasar atom-atom unsurnya.

Di SMP kalian telah memperoleh pembelajaran tentang atom. Atom adalah partikel terkecil dari suatu materi. Selain itu, ada pula istilah unsur yang telah kalian pelajari. Ingatkah kalian bahwa unsur adalah zat yang tidak dapat diuraikan menjadi zat yang lebih sederhana melalui reaksi kimia. Atom suatu unsur berbeda dengan atom unsur yang lain.

Mengawali pemahaman dasar mengenai atom dan sifatnya, ayo lakukan Aktivitas 3.1 berikut.

## Aktivitas 3.1 Ayo Bereksperimen

Ayo kenali sifat-sifat atom dalam benda-benda yang ada di sekitar kalian melalui percobaan berikut.

**Perlakuan A: Sebelum digosok**

Dekatkan penggaris plastik ke rambut, amati apa yang terjadi.

**Perlakuan B: Setelah digosok**

1. Potonglah kertas menjadi bagian yang paling kecil.
2. Gosokkan penggaris plastik ke rambut kalian dengan gerakan searah dan berulang-ulang.
3. Dekatkan ujung penggaris plastik tadi ke potongan kertas lalu amati apa yang terjadi.




**Gambar 3.1** Percobaan Penggaris dan Kertas

**Pertanyaan:**

1. Apakah yang terjadi saat penggaris plastik didekatkan ke rambut sebelum digosokkan ke rambut?
2. Apakah yang terjadi saat penggaris plastik didekatkan ke potongan kertas setelah digosokkan ke rambut?
3. Mengapa kertas dapat menempel pada penggaris plastik?
4. Adakah sesuatu yang terkandung dalam penggaris plastik, rambut, dan kertas yang menyebabkan potongan kertas tertarik ke penggaris plastik?

Berdasarkan hasil Aktivitas 3.1 kalian akan mengetahui bahwa setiap benda mengandung sesuatu yang kecil, tak kasat mata namun memiliki kemampuan yang menyebabkan benda-benda itu dapat tarik-menarik. Apakah itu? Mari kita ulas mulai dari perkembangan konsep atom pada zaman Yunani.

## A. Konsep Atom Zaman Yunani

Konsep atom muncul untuk menjelaskan bahwa bila suatu materi dipotong terus-menerus akan sampai pada suatu saat di mana bagian terkecil dari materi sudah tidak dapat dipotong-potong lagi. Apakah bagian terkecil itu disebut atom?

Jauh pada masa lalu manusia telah menduga bahwa materi walaupun terlihat kontinu namun memiliki struktur tertentu pada tingkat mikroskopik. Konsep tentang materi dan atom diawali dari dua pandangan sains klasik yang bertolak belakang. Kedua perbedaan itu dikemukakan oleh filsuf Yunani Kuno pada sekitar 300–400 tahun SM, yaitu Aristoteles (384–322 SM) dan Democritus (460–370 SM).

Aristoteles menyatakan bahwa materi adalah sesuatu yang bersifat kontinu, yaitu dapat dibelah atau dibagi secara terus-menerus sampai tidak terhingga. Pandangan yang berbeda dinyatakan oleh Democritus bahwa materi bersifat diskontinu, artinya materi dapat dibelah sampai pada suatu keadaan yang paling kecil dan tidak dapat dibagi lagi. Democritus menyebut partikel terkecil tersebut

dengan istilah atom. Atom dalam bahasa Yunani adalah *atomos* berarti tidak dapat dibagi-bagi. Pandangan Democritus yang lain adalah atom tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Atom berbentuk padat, tidak dapat dihancurkan, dan berukuran terlalu kecil untuk dilihat.

Konsep Democritus ini pertama kali dikembangkan oleh Leukippos, guru dari Democritus. Leukippos berkesimpulan bahwa alam semesta ini hanya terdiri atas ruangan yang berisi atom-atom saja. Namun, tidak serta merta pendapat guru dan murid tentang keberadaan atom ini diakui. Hal ini karena pada saat itu orang masih percaya kepada pandangan Aristoteles.

## B. Rekonseptualisasi Atom oleh John Dalton

**Fakta Sains**

### Konsep Atom Dalton

Tahukah kalian? Berdasarkan data dari U.S. Department of Interior dan U.S. Geological Survey dalam Mineral Commodity Summeries 2009, sumber daya dan cadangan nikel yang ada di dunia didominasi oleh nikel laterit, yaitu sebesar 60% dan sisanya berupa nikel sulfida. Bijih nikel yang dimiliki oleh Indonesia adalah bijih nikel laterit. Endapan nikel laterit di Indonesia terdapat di Pegunungan Meratus dan Pulau Laut Kalimantan, lengan timur Pulau Sulawesi, di Maluku Utara terdapat di Pulau Obi, Pulau Gebe, dan Halmahera, serta di Papua terdapat di Pulau Gag, Pulau Waige, Pegunungan Cyclops, dan Pegunungan Tengah Papua.

Mineral laterit mengandung oksida nikel (NiO) dan kobalt (CoO). Meskipun mineral ini dapat ditemukan di berbagai tempat di Indonesia, namun hasil eksperimen menunjukkan bahwa perbandingan massa Ni dan Co tetap sama, tidak bergantung pada jenis dan asal lateritnya. Bagaimana fenomena tentang komposisi atom dalam materi dapat dijelaskan? Ternyata, teori atom Aristoteles dan Democritus tidak dapat menjelaskannya. John Dalton memberikan jawaban setelah merekonseptualisasi teori atom sebelumnya. Ayo kita simak penjelasan berikut ini.

Pada sekitar abad ke 18, seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris bernama John Dalton (1766–1844) merekonseptualisasikan teori atom yang tidak berkembang selama belasan abad menjadi sistem baru filsafat kimia, yaitu **teori atom Dalton**.

Apakah yang dikemukakan oleh Dalton terkait teori atomnya? Substansi terpenting dalam teori atom Dalton (1803) ditulis sebagai berikut.

1. Atom merupakan bagian terkecil dari materi yang tidak dapat dibagi lagi.
2. Atom unsur sejenis adalah identik, atom unsur yang berbeda juga berbeda.
3. Suatu atom tertentu tidak dapat diubah menjadi atom yang lainnya.
4. Atom-atom yang bersenyawa dalam molekul, mempunyai perbandingan tertentu dan jumlah massa keseluruhannya tetap. Jumlah massa sebelum atom-atom bersenyawa sama dengan jumlah massa sesudah atom-atom itu bersenyawa.
5. Apabila dua jenis atom membentuk dua macam senyawa atau lebih maka atom-atom yang sama dalam kedua senyawa itu mempunyai perbandingan yang berbeda tetapi sederhana.

Bagaimana membuktikan kebenaran teori atom Dalton? Ayo coba lakukan Aktivitas 3.2 berikut.



**Aktivitas 3.2 Ayo Cari Tahu**

Carilah beberapa senyawa yang terdiri atas atom-atom C, H, dan O yang jumlah dan perbandingan atom-atomnya berbeda. Bagaimana pendapat kalian?

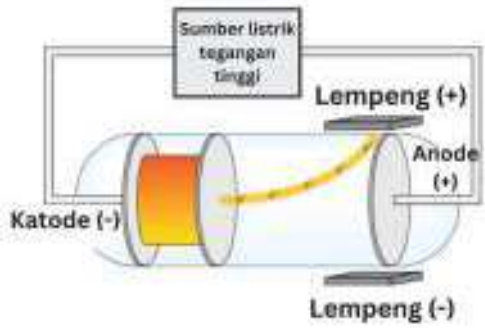
Bagaimana menjelaskan fenomena ini dengan menggunakan teori atom Dalton? Listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik mengalir ke seluruh daerah dengan menggunakan kabel tembaga. Mengapa listrik dapat mengalir? Apa yang terjadi dalam kabel selama proses aliran listrik? Apakah kabel-kabel logam lain juga dapat digunakan? Apakah kabel dari bahan nonlogam dapat digunakan? Pertanyaan-pertanyaan tersebut tidak dapat dijelaskan oleh teori atom Dalton.

Perkembangan selanjutnya, teori atom Thomson memperbaiki teori atom Dalton, sehingga dapat menjelaskan fenomena aliran listrik di atas. Dalam perkembangan lebih lanjut ternyata atom masih terbagi lagi menjadi partikel subatom yang memiliki sifat-sifat tertentu. Apa saja partikel subatom itu dan bagaimana sifatnya? Setelah mempelajari uraian berikut ini, diharapkan kalian dapat menjawab pertanyaan apa yang terjadi saat listrik mengalir? Partikel apa yang berperan? Bagaimana posisi partikel tersebut dalam atom?

## C. Partikel Subatom dan Sifatnya

### 1. Penemuan Elektron

Pemikiran atom pada abad ke-19 belum berdasarkan data empiris. Sejak J.J. Thomson (1904) menemukan partikel-partikel yang lebih ringan daripada atom dan disebutnya sebagai korpuskular atau elektron maka muncul pandangan bahwa semua atom mengandung elektron. Penemuan elektron oleh J.J. Thomson menggiring pengetahuan baru tentang struktur atom. Pada awalnya, J.J. Thomson mempelajari sifat-sifat sinar katode dengan cara mendekatkan medan listrik ke tabung kaca bermuatan. Ternyata, sinar yang semula bergerak lurus menjadi berbelok mendekati medan listrik yang bermuatan positif. Kenyataan ini membuatnya berkesimpulan bahwa sinar katode itu bermuatan listrik negatif (Gambar 3.2).




**Gambar 3.2** Percobaan Thomson
*Sumber: Zachary Wilson/cloudfront.net (2021)*

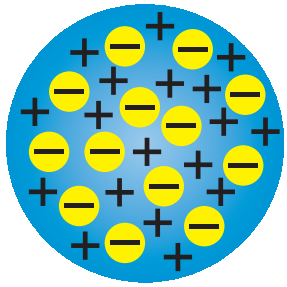
Untuk melihat visualisasi percobaan Thomson, kalian dapat mengakses tautan berikut.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/CRT

https://buku.kemdikbud.go.id/s/CR

Berdasarkan penemuannya, Thomson menyimpulkan konsep atom yang dikenal dengan model atom roti kismis (Gambar 3.3).

1. Atom merupakan sebuah bola kompak dan terdapat elektron yang bermuatan listrik negatif.
2. Dengan asumsi suatu atom itu netral, Thomson menyatakan bahwa selain elektron, di dalam atom juga terdapat muatan listrik positif yang tersebar di antara muatan negatif dalam jumlah yang sama.



**Gambar 3.3** Model Atom Roti Kismis

Fakta Sains

### Asal Usul Istilah Elektron

Tahukah kalian dari mana muncul istilah elektron? J.J. Thomson adalah Profesor Fisika dan Direktur Laboratorium Cavendish di Universitas Cambridge. Hasil percobaan Thomson menyatakan bahwa elektron didistribusikan ke seluruh bola atom bermuatan positif. Thomson sebenarnya tidak menyukai istilah elektron, ia lebih menyebutnya dengan istilah *"corpuscle"* yang artinya muatan listrik. John Stoney ahli elektrokimia berkebangsaan Inggris menyebutnya "elektron". Istilah elektron berasal dari kata Yunani, "*elecktra*" yang berarti amber. Amber ketika digosok akan menghasilkan muatan statis.



**Gambar 3.4** J.J. Thomson

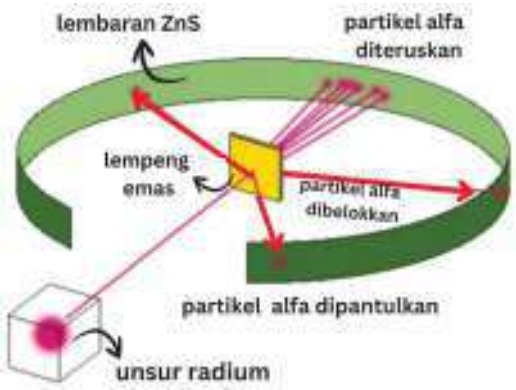
Benarkah posisi elektron dan partikel positif seperti yang diilustrasikan oleh model atom Thomson? Ternyata, setelah ada penemuan lebih baru dari ahli fisika Rutherford, model tersebut mengalami perbaikan. Penemuan Rutherford ini terkenal melalui percobaan penembakan lempeng emas tipis dengan sinar alfa. Mari kita simak penjelasannya.

## 2. Penemuan Inti Atom

Pada tahun 1911, seorang ahli fisika Inggris bernama Ernest Rutherford melakukan eksperimen untuk menguji model atom Thomson. Dalam eksperimennya (Gambar 3.5), Rutherford menembakkan seberkas partikel alfa yang kecil, padat, dan bermuatan positif, yang dipancarkan dari unsur radium. Partikel alfa ditembakkan pada lempeng emas yang sangat tipis dengan ketebalan 100 nm. Lempeng emas dikeilingi oleh lembaran seng sulfida (ZnS) berbentuk lingkaran yang digunakan sebagai detektor. Lembaran ZnS akan menyala jika terkena partikel alfa.

**Apa itu partikel alfa?**

Tahukah kalian bahwa partikel alfa ditemukan dan diberi nama oleh Rutherford. Partikel alfa bermuatan positif dan identik dengan inti atom helium (He).




**Gambar 3.5** Percobaan Rutherford
*Sumber: Kurzon/commons.wikimedia.org (2014)*

Untuk melihat visualisasi percobaan Rutherford, kalian dapat mengakses tautan berikut.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/PIA

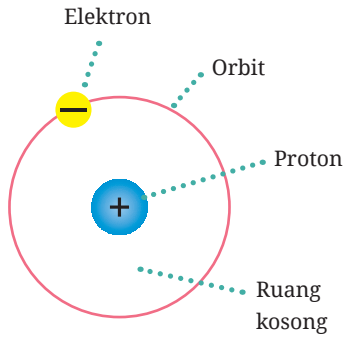
Percobaan Rutherford menunjukkan bahwa sebagian besar berkas partikel alfa diteruskan menembus lempeng emas yang tipis. Sebagian kecil saja yang dibelokkan atau dihamburkan dengan sudut yang lebih besar dari 90 derajat dan sebagian lainnya dipantulkan. Menurut Rutherford bila sebagian besar partikel alfa diteruskan artinya sebagian besar dari atom adalah ruang kosong

atau hampa. Bagaimana dengan partikel alfa yang dibelokkan dan dipantulkan? Beberapa partikel alfa dibelokkan oleh lembaran emas dengan sudut yang sangat kecil, artinya muatan positif dalam atom tidak terdistribusi secara merata melainkan terkonsentrasi dalam volume yang sangat kecil. Sementara sangat sedikit partikel alfa yang dipantulkan dengan sudut mendekati 180 derajat, juga menunjukkan volume muatan positif dalam suatu atom sangatlah kecil dibandingkan dengan volume total suatu atom.

Rutherford menyimpulkan bahwa atom memiliki pusat, yaitu inti yang padat dan bermuatan positif. Atom juga mempunyai elektron bermuatan negatif yang tersebar di sekitar luar inti. Elektron bergerak mengelilingi inti dengan kecepatan sangat tinggi dalam jalur melingkar. Rutherford menamakan jalur melingkar ini sebagai **orbit**.

Berdasarkan hasil percobaannya, Rutherford menyusun model baru struktur atomnya (Gambar 3.6) sebagai berikut.

1. Atom terdiri atas elektron yang bermuatan negatif dan inti atom yang bermuatan positif. Partikel bermuatan positif disebut proton. Jumlah proton dalam atom sama dengan jumlah elektronnya sehingga atom bersifat netral.
2. Di antara atom dan inti atom terdapat ruang kosong.
3. Elektron berada dalam garis edarnya yang disebut orbit.

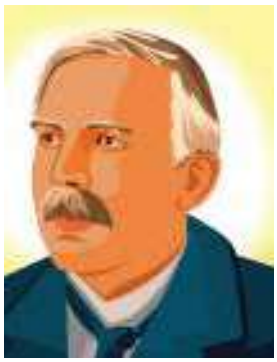



**Gambar 3.6** Model Atom Rutherford untuk atom hidrogen

Model atom Rutherford menjelaskan sifat materi yang bermuatan, tetapi ia tidak dapat menjelaskan seluruh massa atom. Setelah lebih dari 20 tahun, masalah ini teratasi ketika pada tahun 1932 James Chadwick menemukan **neutron**, partikel padat tak bermuatan yang juga berada di dalam inti atom.

Fakta Sains

**Bapak Fisika Inti**



**Gambar 3.7** Ernest Rutherford

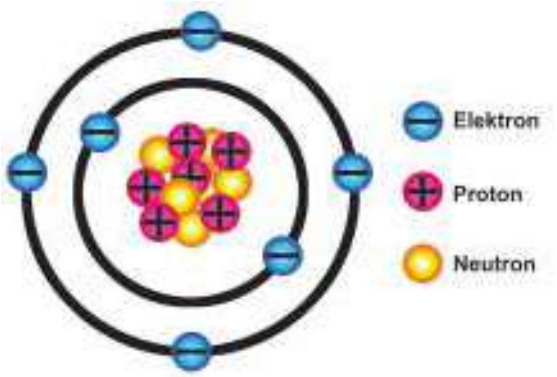
Rutherford dijuluki Bapak Fisika Inti. Mengapa demikian? Rutherford adalah satu dari 12 bersaudara yang lahir di Selandia Baru. Saat menjadi mahasiswa, Rutherford melakukan penelitian tentang sifat-sifat partikel bermuatan di bawah bimbingan J.J. Thomson di Laboratorium Cavendish di Universitas Cambridge. Dalam penelitiannya, Rutherford menemukan partikel alfa yang teridentifikasi sebagai inti helium (proton dan neutron, tanpa elektron) dan partikel beta sebagai elektron. Setelah itu, Rutherford bekerja di McGill University di Montreal, Kanada. Dia meneliti asal-usul partikel alfa (dari disintegrasi unsur) dan memenangkan Hadiah Nobel kimia pada tahun 1908. Rutherford kemudian menjadi profesor fisika di Universitas Victoria, Manchester, Inggris.

## 3. Penemuan Neutron

Pada perkembangan selanjutnya, ternyata dijumpai kejanggalan pada model atom Rutherford. Mengapa demikian? Perbandingan massa atom helium dan hidrogen tentunya 2 : 1, namun faktanya 4 : 1. Rutherford dan kawan-kawan mempostulatkan pasti terdapat jenis partikel subatom yang lain di dalam inti atom. Hal ini dibuktikan oleh fisikawan Inggris yang bernama James Chadwick pada tahun 1932.

J. Chadwick melakukan percobaan dengan menembakkan partikel alfa pada selembar tipis logam berilium. Hasil percobaan menunjukkan bahwa logam tersebut memancarkan radiasi berenergi sangat tinggi serupa dengan sinar gama. Percobaan selanjutnya menunjukkan bahwa sinar itu sesungguhnya terdiri atas partikel netral yang mempunyai massa sedikit lebih besar daripada massa proton. Partikel tersebut kemudian dinamai neutron sebagai partikel

inti atom selain proton. Dengan demikian, perbandingan massa atom helium terhadap hidrogen sudah terjawab, karena atom helium memiliki 2 proton dan 2 neutron sementara atom hidrogen mempunyai 1 proton dan tidak memiliki neutron. Gambar 3.8 menunjukkan letak dari partikel subatom, yaitu proton, neutron, dan elektron sebagai komponen dasar atom.




**Gambar 3.8** Letak Partikel Subatom

Untuk melihat visualisasi percobaan J. Chadwick, kalian dapat mengakses tautan berikut.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/DON

## Fakta Sains

### Penemu Neutron

James Chadwick lahir di Inggris pada 20 Oktober 1891. Ia kuliah di Universitas Manchester dan menerima gelarnya dari Honors School of Physics. Pengaruh besar Chadwick dalam bidang kimia adalah ketika ia berhasil melakukan transmutasi unsur cahaya dengan menembakkan partikel alfa. Dengan melakukan ini, Chadwick mempelajari struktur inti atom kemudian membuktikan bahwa neutron itu nyata. Penemuan Chadwick mengarah pada reaksi inti. James Chadwick dianugerahi Hadiah Nobel bidang fisika pada tahun 1935 atas penemuan neutron.



**Gambar 3.9** James Chadwick

Jadi, apa kesimpulan dari bahasan di atas? Atom terdiri atas tiga partikel subatom yang disebut elektron (bermuatan negatif), proton (bermuatan positif), dan neutron yang bersifat netral. Proton dan neutron berada di pusat atom (disebut inti atom), sementara elektron mengorbit pada inti atom dan dipisahkan oleh ruang kosong dari inti atom.



## Aktivitas 3.3 Ayo Berkreasi

Buatlah ilustrasi yang menggambarkan model atom beserta partikel sub-atomnya (elektron, proton, dan neutron) dilengkapi dengan sifat muatan listrik dan massanya. Silakan berdiskusi dalam kelompok.

Berdasarkan penjelasan tentang penemuan partikel subatom, bagaimana pendapat kalian tentang gambaran umum suatu atom? Secara umum, atom digambarkan sebagai suatu awan elektron bermuatan negatif yang bergerak cepat mengelilingi suatu titik kecil bermuatan positif di pusat atom. Elektron dapat bergerak mengelilingi titik kecil ini karena mengalami gaya tarik-menarik dengan muatan positif di pusat atom. Titik kecil ini adalah inti atom atau nukleus. Inti atom bermuatan positif karena terdiri atas proton yang bermuatan positif dan neutron sebagai partikel yang tidak bermuatan listrik. Hal menarik lainnya adalah inti atom sangatlah padat. Apa buktinya? Inti atom menyumbang 99,97% massa suatu atom meskipun diameter inti atom hanya $10^{-14}$ m atau sepersepuluh ribu kali lebih kecil dari diameter atom, sementara volumenya sepersepuluh triliun dari volume atom. Inti atom memiliki massa yang hampir sama dengan massa atom hidrogen.

Bagaimana analogi untuk membayangkan inti atom yang mungil dan masif? Jika ukuran inti atom sebesar kelereng berdiameter 1 cm dan massanya mencapai 100 ton atau setara dengan massa 50 mobil, maka ukuran atomnya adalah 100 m atau sedikit lebih panjang dari ukuran lapangan sepak bola! Baik inti atom maupun awan elektron adalah bagian dari struktur atom yang merupakan satuan dasar materi.

## 4. Sifat Partikel Subatom

Kalian telah mempelajari bahwa dalam inti atom terdapat proton dan neutron, sementara elektron terdapat di sekitar inti atom. Proton, neutron, dan elektron disebut partikel subatom yang menyusun atom. Bagaimana sifat partikel subatom penyusun atom itu? Untuk memahaminya, lakukan Aktivitas 3.4.

### Aktivitas 3.4 Ayo Identifikasi

Berdasarkan Tabel 3.1, diskusilah dalam kelompok untuk mengidentifikasi: (1) partikel subatom apa saja yang menyusun atom, (2) di manakah posisi partikel subatom tersebut dalam atom, dan (3) apa saja yang merupakan sifat partikel subatom.

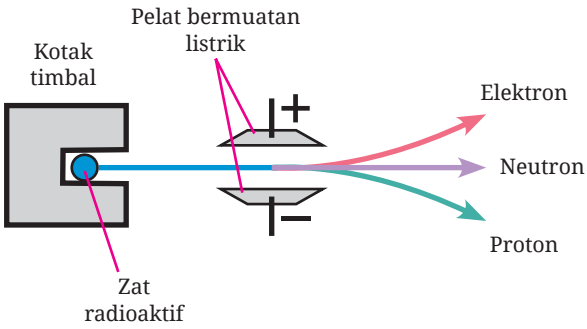
**Tabel 3.1** Sifat Partikel Subatom

| Partikel Subatom | Simbol | Muatan Relatif | Muatan Absolut (coulomb) | Massa Relatif (sma)* | Massa Absolut (g) | Lokasi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Proton | P | +1 | $+1{,}60218 \times 10^{-19}$ | 1,00727 | $1{,}67262 \times 10^{-24}$ | Nukleus |
| Neutron | N | 0 | 0 | 1,00866 | $1{,}67493 \times 10^{-24}$ | Nukleus |
| Elektron | E | –1 | $-1{,}60218 \times 10^{-19}$ | 0,00054858 | $9{,}10939 \times 10^{-28}$ | Di luar nukleus |

*Sumber: Silberberg, 2003*

* sma = satuan massa atom ($1{,}66054 \times 10^{-24}$ g)

Massa partikel subatom sangat sulit diukur langsung. Oleh karena itu, para ahli sepakat menetapkan massa partikel relatif dengan cara membandingkannya dengan massa satu atom karbon (C). Massa relatif partikel subatom dinyatakan dalam satuan sma (satuan massa atom), yaitu 1/12 massa atom satu atom C-12. Oleh karena massa relatif dan muatannya berbeda, maka ketiga partikel subatom memiliki perilaku berbeda dalam medan listrik. Gambar 3.10 menampilkan bahwa neutron yang bersifat netral tidak dibelokkan dalam medan listrik, sementara proton tertarik ke kutub negatif dan elektron menuju kutub positif.




**Gambar 3.10** Perilaku Partikel Subatom dalam Medan Listrik

Untuk mengingat partikel subatomik kalian dapat mengakses tautan berikut.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/TAS

**Aktivitas 3.5** **Ayo Berkreasi**

Bersama kelompok kalian, ciptakan sebuah lagu, pantun, puisi, *podcast*, atau karya lainnya tentang partikel subatom dan sifatnya. Peragakan karya kelompok kalian di depan kelas atau unggah ke akun media sosial kalian.

## D. Lambang Atom, Ion, dan Isotop

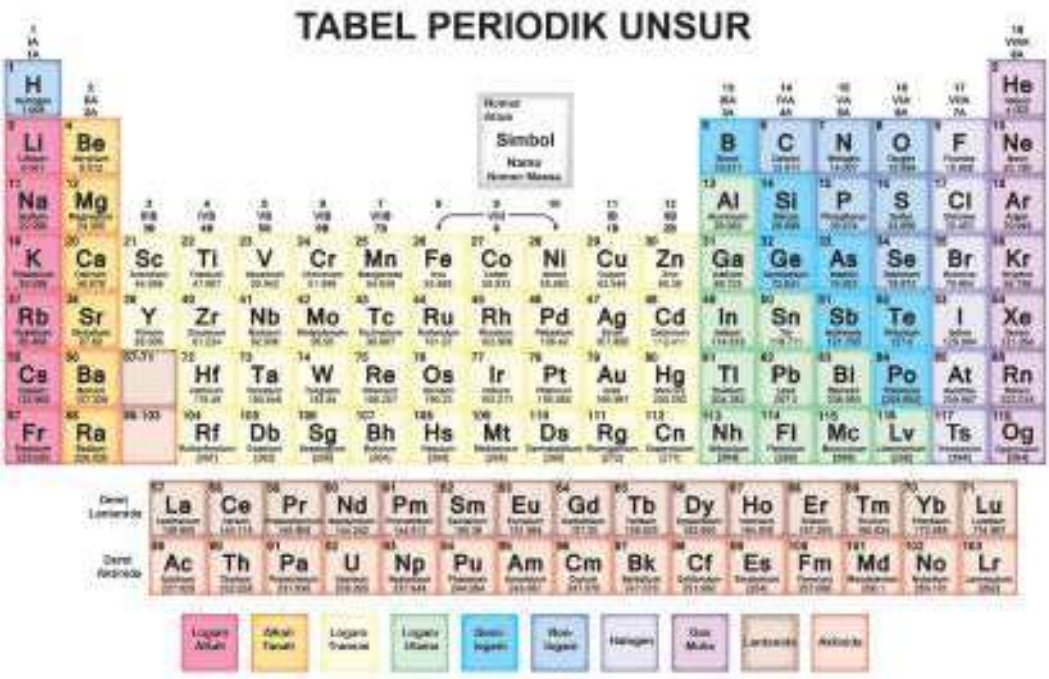
Setiap unsur memiliki namanya masing-masing beserta sifatnya. Unsur-unsur tersebut kemudian disusun secara sistematik dalam suatu tabel yang kita kenal sebagai tabel periodik unsur. Setelah mengalami perubahan dan perkembangan, disusunlah tabel periodik unsur terbaru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.

Setiap unsur dalam tabel periodik di atas dinyatakan dalam lambang unsur atau lambang atom, nomor unsur atau nomor atom, dan massa atomnya. Mari kita pelajari makna lambang atom lebih lanjut.

### 1. Makna Lambang Atom

Suatu atom bersifat netral atau tidak bermuatan listrik. Mengapa demikian? Jumlah elektron yang mengelilingi atom sama dengan jumlah proton yang

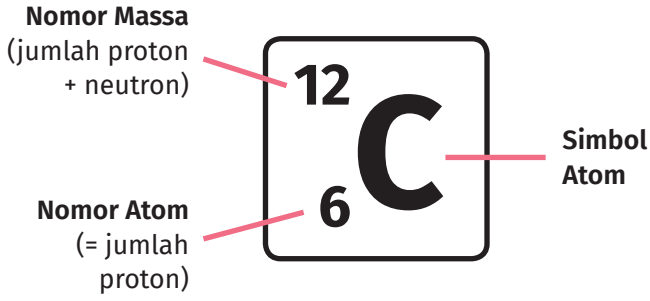
terdapat dalam inti atom. Bagaimana kita mengetahui jumlah elektron, proton, dan neutron pada suatu atom? Perhatikan tabel periodik unsur berikut!




**Gambar 3.11** Tabel Periodik Unsur Modern

Atom-atom disusun berdasarkan nomor atom mulai dari nomor 1 (hidrogen, H) hingga 118 (ununoctium, Uun). Nomor ini akan terus bertambah seiring ditemukannya atom dari unsur-unsur yang baru. Nomor atom ini tercantum pada lambang atom tiap-tiap unsur beserta nomor massanya.

Mari kita cermati contoh lambang atom karbon (C) pada Gambar 3.12.




**Gambar 3.12** Cara Menulis Lambang Atom

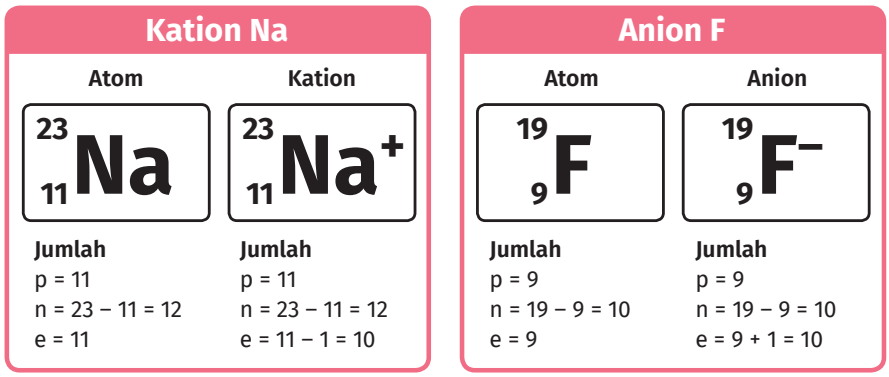
Pada lambang atom C di atas, tampak bahwa nomor atom C adalah 6 dan nomor massanya 12. Nomor atom menunjukkan jumlah proton, yaitu sebanyak 6 buah. Adapun nomor massa merupakan jumlah proton dan neutron, yaitu proton sebanyak 6 buah dan neutron juga 6 buah. Jumlah neutron diperoleh dari 12 dikurangi 6. Bagaimana dengan jumlah elektron? Ingat bahwa atom bersifat netral, sehingga jika jumlah proton atom C ada 6 maka elektronnya juga ada 6 buah. Kesimpulan apa yang kalian peroleh terkait jumlah proton, neutron, dan elektron dalam suatu atom?

Nomor atom = jumlah proton dalam inti atom
Jumlah proton = jumlah elektron (Ingat, atom bersifat netral!)
Nomor massa = jumlah proton + jumlah neutron

## 2. Ion

Suatu atom dapat kehilangan elektronnya dan menerima elektron dari luar. Apa yang terjadi bila suatu atom kehilangan elektronnya? Ya, atom tersebut akan berubah menjadi partikel bermuatan. Bila atom melepaskan elektron maka akan menjadi partikel bermuatan positif. Sebaliknya bila atom menerima elektron dari luar maka akan menjadi partikel bermuatan negatif. Atom yang telah kehilangan elektron atau menerima elektron dari luar disebut ion. Ion positif dikenal dengan nama **kation,** sedangkan ion negatif diberi nama **anion.**

Mari perhatikan Gambar 3.13 sebagai contoh ion positif atau kation dari atom Na dan ion negatif atau anion dari atom F. Partikel subatom manakah yang berubah jumlahnya ketika atom menjadi ion?




**Gambar 3.13** Kation $Na^+$ dan anion $F^-$

Ayo kerjakan latihan berikut untuk mengulangi pemahaman kalian tentang lambang atom dan ion.



## Ayo Berlatih

Isilah kolom yang kosong pada Tabel 3.2 berikut! Kesimpulan apa yang kalian peroleh terkait partikel subatom yang menyusun atom?

**Tabel 3.2** Lambang Atom dan Ion

| No. | Lambang Atom | Nomor Atom | Nomor Massa | Muatan | Jumlah Proton | Jumlah Elektron | Jumlah Neutron |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Li | 3 | 7 | 0 | 3 | 3 | 4 |
| 2. | $Li^+$ | 3 | 7 | | | | |
| 3. | O | 8 | 16 | 0 | 8 | 8 | 8 |
| 4. | $O^{2-}$ | 8 | 16 | | | | |
| 5. | Al | 13 | 27 | | | | |
| 6. | $Al^{3+}$ | 13 | 27 | +3 | 13 | 10 | 14 |

## 3. Isotop

Tahukah kalian bintang-bintang tersusun dari apa? Ternyata, bintang termasuk matahari, tersusun dari gas hidrogen ($H_2$) yang berkumpul membentuk plasma. Hidrogen adalah unsur paling melimpah di alam semesta. Kelimpahannya sekitar 75% dari total unsur di alam semesta. Hidrogen dengan nomor atom satu ini juga dikenal sebagai unsur teringan di dunia. Dalam bahasa Yunani, *hydro* artinya air dan *gene* berarti membentuk, dengan kata lain hidrogen adalah unsur yang dapat membentuk air. Mengapa demikian?

Sejarah penemuan gas hidrogen ($H_2$) diawali oleh percobaan T. Von Hohenheim (dikenal juga sebagai Paracelsus, 1493–1541). T. Von mereaksikan logam dengan asam kuat. Gas yang dihasilkan dari reaksi kimia tersebut bersifat mudah terbakar. Saat itu belum diketahui bahwa gas tersebut mengandung hidrogen. Pada tahun 1766, Henry Cavendish adalah orang yang pertama

mengenali gas hidrogen sebagai zat diskret dengan mengidentifikasi gas tersebut dari reaksi logam dengan asam sebagai "udara yang mudah terbakar". Lanjut pada tahun 1781, Cavendish menemukan bahwa gas ini menghasilkan air ketika dibakar. Kemudian tahun 1783, Antoine Lavoisier memberi unsur ini dengan nama hidrogen ketika dia dan Laplace mengulang kembali penemuan Cavendish yang mengatakan pembakaran hidrogen menghasilkan air. Gas hidrogen ditulis dengan rumus kimia $H_2$, artinya gas hidrogen tersusun oleh dua atom hidrogen.

Pada tahun 1931, Harold Urey menemukan gas deuterium ($D_2$) yang sifatnya mirip dengan gas hidrogen tetapi massanya lebih berat. Lanjut tahun 1932, Urey dan kawan-kawan menemukan senyawa deuterium dalam bentuk air berat ($D_2O$). Kemudian tahun 1934, Ernest Rutherford, Mark Oliphant, dan Paul Harteck berhasil membuat tritium dengan bahan dasar hidrogen.

Penelitian lebih lanjut membuktikan bahwa unsur deuterium ternyata terdiri atas satu proton, satu neutron, dan satu elektron. Sementara unsur tritium memiliki satu proton, dua neutron, dan satu elektron. Mari kita bandingkan dengan karakter proton dengan mencermati Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Jumlah Proton, Elektron, dan Neutron Isotop Hidrogen

| Lambang Unsur | Nomor Atom | Nama isotop | Massa Atom | Jumlah Proton | Jumlah elektron | Jumlah Neutron | % Kelimpahan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | 1 | Hidrogen | 1,007825 | 1 | 1 | 0 | 99,9885 |
| | | Deuterium | 2,014102 | | | 1 | 0,0115 |
| | | Tritium | 3,016049 | | | 2 | - |

Apa yang dapat kalian simpulkan? Ya benar, perbedaan ketiganya terletak pada jumlah neutron. Para ahli menamakan unsur-unsur yang memiliki jumlah proton sama disebut **isotop**. Jadi, dapat dikatakan bahwa isotop hidrogen adalah deuterium dan tritium.

**Jadi, apa itu isotop?**

Isotop adalah unsur-unsur yang sama, yaitu memiliki persamaan jumlah proton dan elektron, namun berbeda jumlah neutronnya sehingga nomor massanya juga berbeda.

Ayo kalian simak isotop unsur lainnya pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Isotop Unsur Karbon di Alam

| Lambang Unsur | Nomor Atom | Nama Isotop | Massa Atom | Jumlah Proton | Jumlah Elektron | Jumlah Neutron | % Kelimpahan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 6 | C-12 | 12,000000 | 6 | 6 | 6 | 98,93 |
| | | C-13 | 13,003355 | | | 7 | 1,07 |
| | | C-14 | 14,003242 | | | 8 | - |

*Sumber: https://www.chem.ualberta.ca/~massspec/atomic_mass_abund.pdf*

## 4. Kegunaaan Isotop

Di alam banyak sekali unsur berada dalam bentuk isotopnya. Namun, hanya isotop yang paling stabil yang jumlahnya melimpah. Bersama dengan deuteurium, isotop tritium digunakan sebagai bahan bakar dalam reaksi fusi di reaktor nuklir. Sementara isotop C-14 digunakan untuk mengetahui umur fosil manusia, hewan, dan tumbuhan. Semakin sedikit kandungan unsur C-14 maka umur fosil semakin tua.

Sifat kimia suatu unsur ditentukan oleh jumlah elektronnya. Oleh karena itu, semua isotop dari suatu unsur memiliki sifat kimia yang hampir sama meskipun massanya berbeda. Massa atom yang tertera pada lambang atom menandakan massa rata-rata dari semua isotop yang ada di alam. Massa atom ditentukan oleh alat spektrometer massa.

### Ayo Berlatih

1. Tulislah lima lambang atom yang berbeda beserta nomor atom dan massanya (cermati kembali tabel periodik unsur pada Gambar 3.11). Jelaskan makna nomor atom dan massa atom terkait jumlah proton, neutron, dan elektron pada masing-masing atom tersebut!
2. Atom Mg memiliki nomor atom 12 cenderung membentuk ion positif $Mg^{2+}$, sedangkan atom N bernomor atom 7 dapat membentuk ion negatif $N^{3-}$.

a. Jelaskan bagaimana proses pembentukan ion $Mg^{2+}$ terkait jumlah proton, neutron, dan elektronnya?
b. Jelaskan bagaimana proses pembentukan ion $N^{3-}$ terkait jumlah proton, neutron, dan elektronnya?

3. Zirkonium mempunyai nomor atom 40. Berapa jumlah neutron yang terdapat pada isotop zirkonium-92?

4. Suatu isotop atom X memiliki nomor massa 81. Jika isotop atom X dapat membentuk ion bermuatan negatif dua, berapakah jumlah proton, elektron, dan neutron isotop tersebut?

5. Magnesium secara alami terdapat dalam tiga isotop, yaitu $^{24}Mg$, $^{25}Mg$, dan $^{26}Mg$. Hitunglah jumlah proton, elektron, dan neutron pada masing-masing isotop Mg! Tuliskan pula kegunaan isotop magnesium! Kalian dapat mencari informasi dari berbagai sumber untuk mengembangkan dimensi bernalar kritis.

## E. Konfigurasi Elektron, Kulit Atom, dan Elektron Valensi

Partikel subatom adalah proton, neutron, dan elektron. Proton dan neutron terdapat dalam inti atom. Di manakah posisi elektron dalam atom dan bagaimana susunannya? Ayo lakukan Aktivitas 3.6 untuk memahami keberadaan elektron melalui spektrum cahaya.



### Aktivitas 3.6 Ayo Bereksperimen

Ikuti petunjuk dari guru kalian untuk melakukan percobaan nyala dari zat-zat: (a) LiCl, (b) NaCl, (c) KCl, (d) $CaCl_2$, (e) $SrCl_2$, (f) $BaCl_2$, dan (g) $CuSO_4$

Amati warna nyala dari zat-zat tersebut saat dibakar. Mengapa zat-zat tersebut dapat memancarkan warna nyala yang beragam?

**Catatan:** Saat bekerja di laboratorium menggunakan bahan-bahan kimia, gunakan alat pelindung diri (APD), antara lain baju laboratorium, masker penutup hidung, kacamata laboratorium, dan sarung tangan.

Untuk melihat visualisasi percobaan nyala dari unsur-unsur logam, kalian dapat mengakses tautan di samping.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/FTC

Ayo berlatih bernalar kritis melalui Aktivitas 3.7.

## Aktivitas 3.7 Ayo Cari Tahu

Cermati video tentang spektrum atom hidrogen pada tautan di samping! Apa yang terjadi dalam atom-atom hidrogen saat muncul spektrum cahaya?

Bagaimana hubungan percobaan yang kalian lakukan terhadap penjelasan spektrum atom hidrogen?

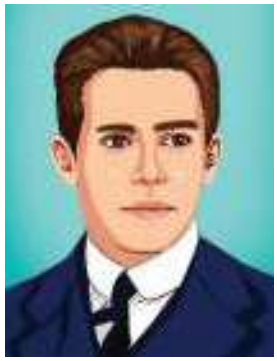
https://buku.kemdikbud.go.id/s/SOH

Berdasarkan percobaan di atas, para ahli menyatakan bahwa elektron yang bergerak mengelilingi inti atom ternyata berada pada lintasan yang berbeda-beda. Hal ini ditunjukkan oleh spektrum yang berwarna-warni. Spektrum cahaya dihasilkan saat elektron tereksitasi kemudian melepaskan sejumlah energi cahaya saat kembali ke posisi lintasan asalnya. Kalau begitu, apakah ini berarti bahwa posisi elektron dalam atom itu berbeda-beda? Nah, hal inilah yang tidak dapat dijelaskan oleh teori atom Rutherford. Teori ini juga kurang mampu menjelaskan mengapa elektron yang bergerak mengelilingi inti atom tidak bergerak mendekati inti yang bermuatan positif.

Seperti terlihat dalam percobaan, spektrum yang dihasilkan atom-atom itu merupakan **spektrum garis** dan bukan spektrum kontinu. Kemudian, mengapa spektrum hidrogen terdiri atas banyak garis spektrum padahal atom hidrogen hanya memiliki satu elektron? Untuk atom berelektron banyak, bagaimana posisi

elektron di dalam atomnya? Niels Bohr, seorang ahli fisika berkebangsaan Denmark (1885–1962), menjelaskan bagaimana **posisi elektron** di dalam atom.

Bohr melakukan pengamatan terhadap spektrum atom hidrogen dengan menerapkan teori kuantum Max Planck. Hasil percobaan Bohr melahirkan dua postulat yang dikenal dengan Postulat Bohr (1913).



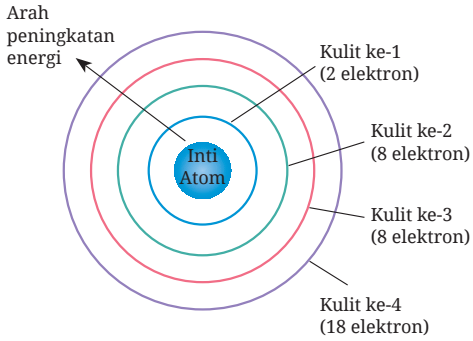
**Gambar 3.14** Niels Bohr

1. Elektron bergerak mengelilingi inti dalam lintasan atau orbit tertentu. Saat mengorbit, elektron tidak menyerap atau melepas energi. Pada keadaan ini, elektron berada pada **tingkat energi dasar** (*ground state*).
2. Lintasan elektron yang paling dekat inti mempunyai energi terendah. Semakin jauh lintasan elektron dari inti maka tingkat energinya semakin besar. Elektron dapat berpindah ke orbit yang lintasannya lebih luar atau tingkat energinya lebih tinggi. Pada keadaan ini elektron **menyerap energi** kemudian mengalami **eksitasi**. Bila elektron tersebut berpindah kembali ke orbit yang lintasannya lebih dekat inti atau tingkat energinya lebih rendah maka **energi akan dilepaskan** kembali. Saat elektron berpindah lintasan atau kulit, hal ini akan memberikan satu garis spektrum. Dengan demikian, spektrum atom merupakan spektrum garis karena eksitasi dan deeksitasi elektron melibatkan perubahan energi yang besarnya tertentu. Besarnya energi ini memenuhi persamaan Planck.

$$\Delta E = E_n - E_{n-1} = h.\frac{c}{\lambda}$$

Keterangan:
$E$ = energi (joule, J)
$h$ = tetapan Planck ($6{,}626 \times 10^{-34}$ J.s)
$c$ = kecepatan cahaya ($2{,}998 \times 10^{10}$ cm/s)
$n$ = tingkat energi dasar ke-$n$
$\lambda$ = panjang gelombang radiasi yang dilepaskan (cm)

Gambar 3.15 menunjukkan kedudukan elektron dalam tiap lintasan atau orbit dengan tingkat energi yang besarnya tertentu. Susunan elektron yang terletak pada lintasan dalam suatu atom merupakan **konfigurasi elektron**. Pada tiap lintasannya, elektron tidak tertarik ke dalam inti karena elektron berada dalam tingkat energi yang tetap. Postulat Bohr ini dapat menjelaskan kelemahan teori atom Rutherford.




**Gambar 3.15** Posisi Elektron pada Lintasan Kulit Atom

Bohr berhasil memadukan pendekatan teori kuantum dengan mekanika klasik sehingga dapat membuktikan berbagai deret spektrum. Hal ini memberi informasi tentang gambaran diagram tingkat energi. Menurut Bohr, elektron bergerak mengelilingi inti atom dalam lintasan yang berbentuk lingkaran. Lintasan ini disebut **kulit atom**. Energi elektron di dalam suatu lintasan ditentukan oleh bilangan kuantum ***n*** yang menyatakan kulit atom. Terdapat tujuh kulit atom, yaitu kulit K ($n$ = 1), kulit L ($n$ = 2), kulit M ($n$ = 3), kulit N ($n$ = 4), kulit O ($n$ = 5), kulit P ($n$ = 6), dan kulit Q ($n$ = 7).

Bagaimana aturan penulisan konfigurasi elektron dalam atom menurut model atom Bohr?

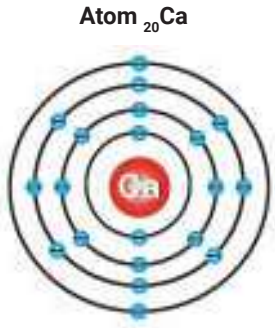
1. Pertama, kalian perlu mengetahui bahwa **n** adalah **nomor kulit**. Terdapat 7 kulit sehingga nilai n adalah 1 hingga 7.
2. Jumlah **elektron maksimum** yang dapat menempati suatu kulit atom, yaitu $\mathbf{2}\boldsymbol{n}^2$.
   a. Kulit pertama adalah kulit K yang terletak paling dekat dengan inti atom. Kulit ini diisi oleh maksimum $2n^2$, yaitu $2(1)^2$ atau 2 elektron.
   b. Kulit kedua adalah kulit L. Kulit ini diisi oleh maksimum $2n^2$, yaitu $2(2)^2$ atau 8 elektron.
   c. Kulit ketiga adalah kulit M. Kulit ini diisi oleh maksimum $2n^2$, yaitu $2(3)^2$ atau 18 elektron.
   d. Kulit keempat adalah kulit N. Kulit ini diisi oleh maksimum $2n^2$, yaitu $2(4)^2$ atau 32 elektron.
   e. Kulit kelima adalah kulit O. Kulit ini diisi oleh maksimum $2n^2$, yaitu $2(5)^2$ atau 50 elektron.

f. Kulit keenam adalah kulit P. Kulit ini diisi oleh maksimum $2n^2$, yaitu $2(6)^2$ atau 72 elektron.
g. Kulit ketujuh adalah kulit Q. Kulit ini diisi oleh maksimum $2n^2$, yaitu $2(7)^2$ atau 98 elektron.

3. Bagaimana susunan elektron dalam setiap kulit? Jika setelah pengisian elektron ternyata pada kulit terakhir jumlah elektron lebih dari 8 namun jumlah elektron maksimum yang akan diisikan pada kulit terakhir itu tidak tercapai maka pada kulit tersebut diisi dengan jumlah elektron maksimum pada kulit sebelumnya. Namun, tetap diperhatikan bahwa pengisian dilakukan sampai sisa elektron sama dengan atau kurang dari 8.

Ayo simak contoh berikut.

**Contoh:**




**Gambar 3.16** Konfigurasi Elektron Atom Kalsium

Cermati Gambar 3.16. Bagaimana langkah menulis konfigurasi elektron dari atom kalsium (Ca) yang nomor atomnya 20?

Penjelasan:

a. Kulit pertama diisi dengan $2 \times 1^2 = 2$ elektron
b. Kulit kedua diisi dengan $2 \times 2^2 = 8$ elektron
c. Kulit ketiga seharusnya diisi dengan $2 \times 3^2 = 18$ elektron, tetapi sisa elektron tinggal $20 - (2 + 8) = 10$. Oleh karena $10 > 8$ maka di kulit ke-3 diisi dengan jumlah maksimum kulit ke-2, yaitu 8 elektron.
d. Kulit keempat diisi oleh sisa 2 elektron.

Jadi, konfigurasi elektron atom Ca = 2.8.8.2.

**Apa peran elektron valensi?**

Elektron valensi atom suatu unsur berperan dalam menentukan sifat dari unsur tersebut. Atom dari unsur-unsur yang memiliki jumlah elektron valensi sama akan mempunyai sifat-sifat kimia yang hampir sama.

Konfigurasi elektron yang tertulis ini memberi informasi bahwa atom Ca memiliki 4 kulit, yaitu kulit K, L, M, dan N. Jumlah elektron pada kulit terluar (N) adalah 2, sehingga dapat dinyatakan bahwa elektron valensi atom Ca adalah 2.

Berapa jumlah elektron valensi pada setiap atom unsur yang terdapat pada Tabel 3.5? Apa yang kalian simpulkan terkait sifat kimia atom unsur-unsur dalam tabel?

**Tabel 3.5** Konfigurasi Elektron Beberapa Unsur

| Unsur | Nomor Atom | K | L | M | N | O | P | Q |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | 1 | 1 | | | | | | |
| Li | 3 | 2 | 1 | | | | | |
| Na | 11 | 2 | 8 | 1 | | | | |
| K | 19 | 2 | 8 | 8 | 1 | | | |
| Rb | 37 | 2 | 8 | 18 | 8 | 1 | | |
| Cs | 55 | 2 | 8 | 18 | 18 | 8 | 1 | |
| Fr | 87 | 2 | 8 | 18 | 32 | 18 | 8 | 1 |

Untuk memperkuat pemahaman kalian tentang konfigurasi elektron ayo kerjakan latihan berikut.

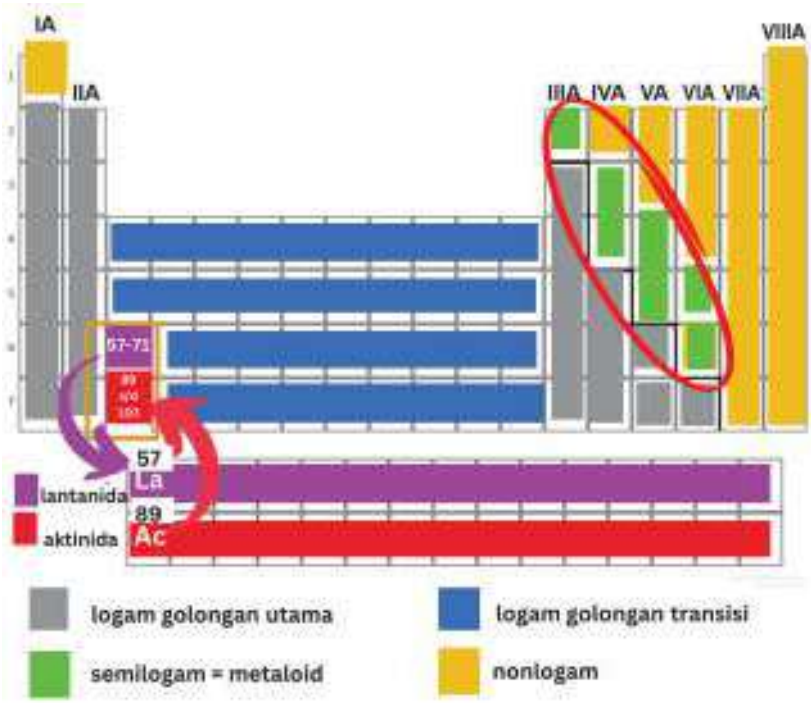
## Ayo Berlatih

1. Mengacu pada Tabel 3.5.
   a. Tuliskan konfigurasi elektron unsur bernomor atom 1 sampai 20!
   b. Berapakah elektron valensi dari atom-atom tersebut?
2. Carilah nomor atom unsur B, Al, Ga, In, dan Tl pada tabel periodik unsur pada Gambar 3.11.
   a. Tuliskan konfigurasi elektron dari atom-atom tersebut!
   b. Berapakah elektron valensi dari atom-atom tersebut?

## F. Sistem Periodik Unsur Modern

Tabel periodik unsur adalah kumpulan unsur-unsur kimia yang disusun berurutan berdasarkan kenaikan nomor atom pada deret atau baris dan kolom. Deret merupakan periode yang dibaca dari kiri ke kanan. Kolom adalah golongan yang dibaca dari atas ke bawah. Tabel periodik unsur memuat lambang atom dari setiap unsur. Kalian telah mempelajari bahwa pada lambang atom terdapat nomor atom dan nomor massa. Tabel periodik unsur yang kalian jumpai saat ini adalah tabel periodik unsur modern yang dikemukakan oleh ahli fisika Inggris bernama Henry Moseley.

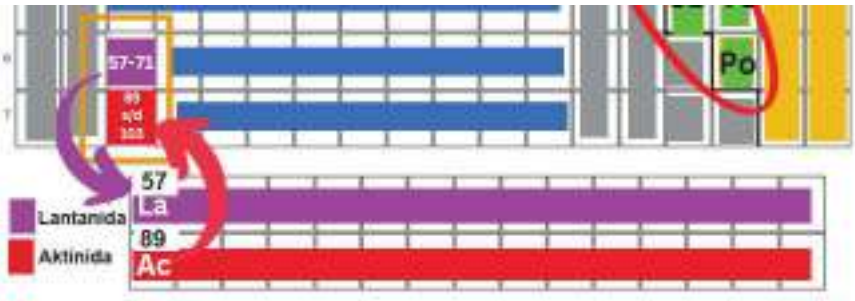
Kalian telah mempelajari cara menulis konfigurasi elektron suatu atom. Kalian juga sudah tahu bahwa elektron yang terletak pada kulit terluar disebut **elektron valensi.** Golongan pada tabel periodik ditentukan oleh jumlah elektron valensi suatu atom unsur tertentu. Atom unsur-unsur yang memiliki jumlah elektron valensi yang sama umumnya menunjukkan sifat kimia yang mirip. Periode pada tabel periodik dapat memberikan informasi mengenai jumlah kulit pada atom unsur tersebut. Bagaimana membaca tabel periodik unsur modern dan bagian-bagian di dalamnya? Ayo cermati Gambar 3.17.




**Gambar 3.17** Kerangka Golongan dan Periode pada Tabel Periodik Unsur

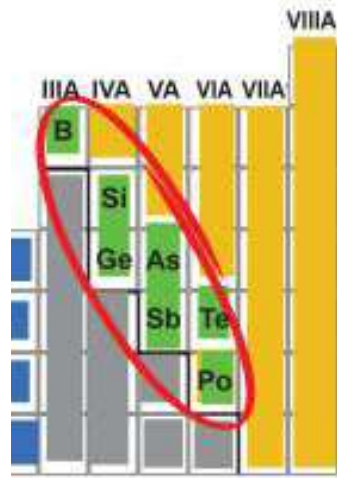
Berikut ini penjelasan Gambar 3.17.

1. Tiap kotak pada tabel periodik unsur memuat lambang dan nama atom, nomor atom, dan nomor massa.
2. Nomor atom dimulai dari nomor 1 (atom H) dan bertambah dari kiri ke kanan.
3. Baris horizontal disebut **periode** dan kolom vertikal disebut **golongan**.
4. Periode diberi nomor 1 sampai 7.
5. Tiap golongan memiliki nomor I sampai VIII yang dikelompokkan menjadi golongan A dan B.
    a. Terdapat 8 **golongan utama**, yaitu IA dan IIA yang terletak di sebelah kiri tabel, sementara IIA, IIIA, IVA, VA, VIA, dan VIIA ada di sebelah kanan tabel. Paling kanan terdapat golongan VIIIA yang disebut golongan gas mulia. Sifat unsur-unsur pada golongan gas mulia adalah ***inert***, artinya tidak reaktif atau tidak mudah bereaksi dengan unsur lain. Golongan gas mulia bersifat stabil karena jumlah elektron valensinya 8 (oktet), kecuali gas helium berjumlah 2 elektron valensi (duplet). Bagian ini akan kalian pelajari lebih lanjut di kelas XI.
    b. Terdapat 10 **golongan transisi**, yaitu IIIB, IVB, VB, VIB, VIIB, VIIIB (ada 3 kolom), IB, dan IIB. Golongan transisi terletak di antara golongan IIA dan IIIA.
    c. Dua deret horizontal yang terpisah adalah unsur-unsur **transisi dalam** yang disebut deret lantanida dan aktinida. Kedua deret ini berada di antara golongan IIIB dan IVB dan posisinya di belakang tabel sehingga tidak terlihat dari depan. Golongan lantanida dimulai dari nomor atom 57 (La) hingga 71 (Lu), sedangkan golongan aktinida dimulai dari nomor atom 89 (Ac) sampai 103 (Lr). Kalian dapat melihat potongan tabel periodik unsur untuk deret lantanida dan aktinida pada Gambar 3.18 berikut.




**Gambar 3.18** Posisi Unsur Lantanida dan Aktinida

d. Kelompok lain pada tabel periodik unsur adalah sifat logam, semilogam, dan nonlogam. Kelompok **logam** adalah unsur-unsur pada golongan IA (kecuali H), IIA, sebagian IIIA, golongan transisi, dan transisi dalam (lantanida dan aktinida). Kelompok **nonlogam** adalah unsur-unsur yang ada pada golongan IVA, VA, VIA, VIIA, VIIIA, dan unsur H. Kelompok di antara logam dan nonlogam adalah **semilogam** atau **metaloid,** berada pada posisi diagonal mulai dari golongan IIIA ke arah bawah golongan VIA. Unsur-unsur tersebut adalah boron (B), silikon (Si), germanium (Ge), arsen (As), antimon atau stibium (Sb), telurium (Te), dan polonium (Po), seperti ditunjukkan pada potongan Gambar 3.19.




**Gambar 3.19** Posisi Unsur Semilogam

## Aktivitas 3.8 Ayo Cari Tahu

Temukan keteraturan unsur dalam satu golongan dan periode dengan mencermati kembali Gambar 3.17 dan Tabel 3.5. Diskusikan bersama teman dan guru kalian, bagaimana keteraturan unsur-unsur dalam satu golongan dan satu periode berdasarkan konfigurasi elektronnya.

1. Temukan unsur-unsur yang ada dalam satu golongan pada Tabel 3.5 dengan unsur-unsur yang sama pada tabel periodik.

2. Temukan unsur-unsur yang ada dalam golongan IIA dan unsur-unsur pada periode 2 pada tabel periodik.

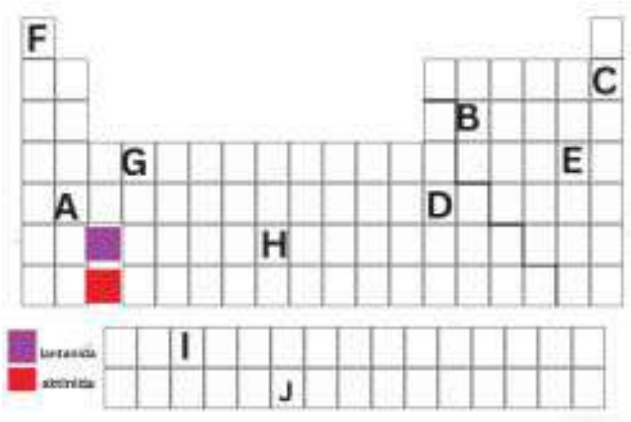
**Keteraturan unsur dalam tabel periodik unsur**

1. Unsur-unsur yang berada dalam satu golongan dicirikan oleh jumlah elektron valensi yang sama.
2. Unsur-unsur yang berada dalam satu periode dicirikan oleh jumlah kulit yang sama.
3. Unsur-unsur yang berada dalam golongan yang sama memiliki sifat kimia yang mirip.
4. Unsur-unsur pada periode yang sama umumnya memiliki sifat kimia yang berbeda.

Setelah kalian mempelajari sistem periodik unsur dan cara menentukan posisi elektron dalam setiap kulitnya, selesaikan Aktivitas 3.9 berikut.

## Aktivitas 3.9 Ayo Identifikasi

Ayo identifikasi huruf-huruf yang tertera pada tabel periodik dengan pernyataan yang tepat pada Tabel 3.6.




**Gambar 3.20** Posisi Unsur dalam Tabel Periodik Unsur

Isilah kolom yang kosong pada Tabel 3.6 dengan huruf yang tertera pada Gambar 3.20!

**Tabel 3.6** Posisi Unsur dalam Tabel Periodik Unsur

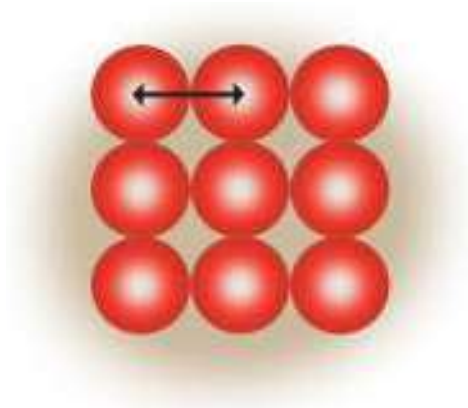
| No. | Pernyataan | Huruf pada Tabel Periodik |
|---|---|---|
| 1. | Unsur golongan aktinida dengan nomor atom 94. | |
| 2. | Unsur dengan elektron valensi berjumlah delapan dan bersifat inert. | |
| 3. | Unsur dengan konfigurasi elektron 2.8.18.8.2. | |
| 4. | Unsur berwujud gas dengan nomor atom terkecil. | |
| 5. | Unsur metaloid pada golongan IVA. | |
| 6. | Unsur yang terletak pada periode ke-6 golongan VIIIA. | |
| 7. | Unsur transisi dalam dengan nomor atom di antara 89-103. | |
| 8. | Unsur dengan jumlah elektron valensi tujuh. | |
| 9. | Unsur yang terletak pada periode ke-5 golongan IIIA. | |
| 10. | Unsur logam transisi pada periode ke-4. | |

## G. Sifat Keperiodikan Unsur

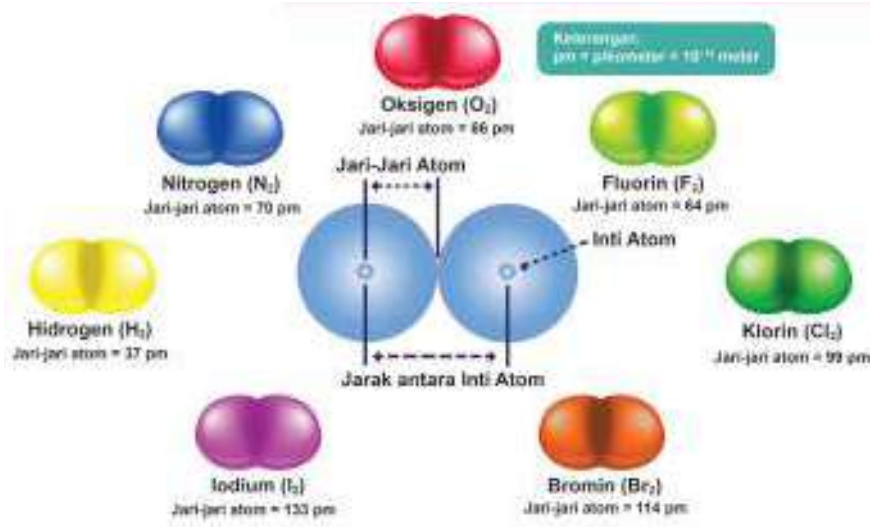
Penempatan unsur-unsur dalam sistem periodik mencerminkan sifat keperiodikan unsur itu sendiri. Pada Tabel 3.5 dan Aktivitas 3.7, kalian telah menemukan bahwa unsur-unsur dalam satu golongan memiliki jumlah elektron valensi yang sama, sementara unsur-unsur dalam satu periode mempunyai jumlah kulit yang sama. Oleh karena itu, unsur-unsur menunjukkan keragaman periodik dalam sifat fisika dan kimianya. Pada bagian ini, kalian akan mempelajari sifat keperiodikan unsur yang meliputi jari-jari atom, energi ionisasi, afinitas elektron, dan elektronegativitas.

## 1. Jari-Jari Atom

Jari-jari atom terkait ukuran atom, meskipun sebenarnya ukuran atom sulit untuk didefinisikan. Pada bahasan sebelumnya, kalian telah mempelajari bahwa ukuran atom sebagai volume yang mengandung sekitar 90% dari seluruh kerapatan elektron di daerah inti atom. Untuk menggambarkan jari-jari atom diambil contoh unsur logam yang atom-atomnya terkait satu sama lain dalam satu jaringan tiga dimensi (Gambar 3.21) dan unsur-unsur yang terdapat sebagai molekul diatomik misalnya iodium (Gambar 3.22).

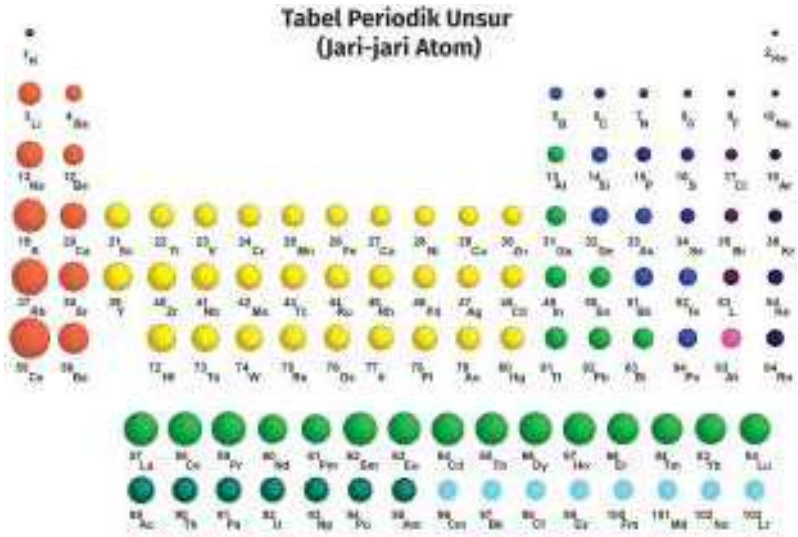


**Gambar 3.21** Jari-jari Atom Unsur Logam




**Gambar 3.22** Contoh Jari-jari Atom Unsur Diatomik

Berdasarkan Gambar 3.21 maka pengertian jari-jari atom logam adalah setengah jarak antara dua inti pada atom-atom yang berdekatan. Berdasarkan kedua gambar tersebut, jari-jari atom didefinisikan sebagai setengah jarak antara inti atom dalam molekul. Bagaimana kecenderungan jari-jari atom pada tabel periodik unsur? Ayo kalian simak Gambar 3.23.




**Gambar 3.23** Kecenderungan Jari-Jari Atom pada Tabel Periodik Unsur

Ayo lakukan Aktivitas 3.10 untuk memahami kecenderungan jari-jari atom pada tabel periodik unsur. Berdiskusilah dalam kelompok untuk mengembangkan dimensi gotong royong dalam belajar.

## Aktivitas 3.10 Ayo Identifikasi

1. Berdasarkan Gambar 3.23, diskusikan dalam kelompok bagaimana kecenderungan jari-jari atom dalam satu periode dan satu golongan.
2. Cermati Tabel 3.7 tentang data jari-jari atom unsur periode ketiga dan unsur golongan VA.

**Tabel 3.7** Jari-Jari Atom Unsur Periode Ketiga dan Unsur Golongan VA

| Unsur Periode Ketiga | Golongan | Jari-Jari Atom |
|---|---|---|
| Na | 1 | 186 |
| Mg | 2 | 160 |
| Al | 3 | 143 |
| Si | 4 | 118 |
| P | 5 | 110 |
| S | 6 | 103 |
| Cl | 7 | 99 |

| Unsur Golongan VA | Periode | Jari-Jari Atom |
|---|---|---|
| N | 2 | 75 |
| P | 3 | 110 |
| As | 4 | 125 |
| Sb | 5 | 145 |
| Bi | 6 | 155 |

a. Mengapa dalam satu periode, dari kiri ke kanan, jari-jari atomnya bertambah pendek, sementara dalam satu golongan, dari atas ke bawah, jari-jari atomnya bertambah panjang?

b. Berdasarkan Tabel 3.7, buatlah grafik hubungan letak unsur pada periode sebagai sumbu *x* terhadap jari-jari atom unsur dalam satuan pikometer (pm) sebagai sumbu *y*.

c. Berdasarkan Tabel 3.7, buatlah grafik hubungan letak unsur pada golongan sebagai sumbu *x* terhadap jari-jari atom unsur dalam satuan pikometer (pm) sebagai sumbu *y*.

d. Jelaskan urutan kenaikan jari-jari atom pada unsur P, Si, dan N!

Jari-jari atom dalam satu periode terutama ditentukan oleh kuatnya tarikan muatan inti terhadap elektron valensi. Dalam satu periode, dari kiri ke kanan, muatan inti, yaitu jumlah proton bertambah, sementara jumlah kulitnya sama. Akibatnya, gaya tarik-menarik antara muatan inti dan elektron pada kulit terluar menguat. Sebaliknya, dalam satu golongan, dari atas ke bawah, jari-jari atom bertambah panjang seiring bertambahnya kulit atom.

**Keteraturan jari-jari atom dalam tabel periodik**

Dalam satu periode, dari kiri ke kanan, jari-jari atom bertambah pendek. Sementara dalam satu golongan, dari atas ke bawah, jari-jari atom bertambah panjang.

## 2. Energi Ionisasi Pertama

Mengapa dikatakan energi ionisasi pertama? Energi ionisasi pertama adalah energi minimum yang dibutuhkan untuk melepaskan satu elektron dari suatu atom netral pada keadaan dasar. Bagaimana kecenderungan energi ionisasi pertama pada dua puluh unsur pertama dalam tabel periodik? Perhatikan Tabel 3.8 berikut.

**Tabel 3.8** Data Energi Ionisasi Pertama Dua Puluh Unsur Pertama

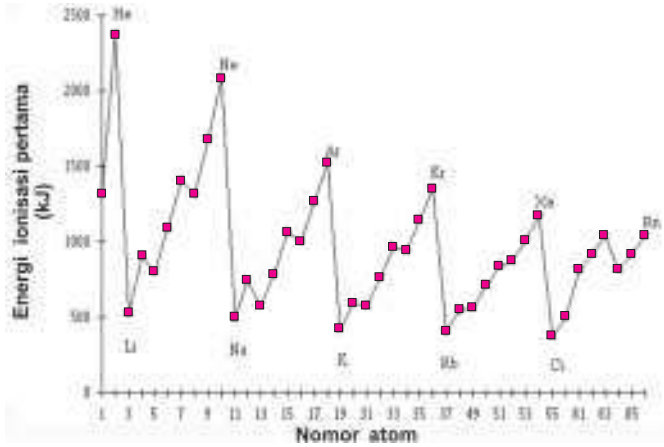
| Nomor Atom | Unsur | Energi Ionisasi Pertama (kJ/mol) | Nomor Atom | Unsur | Energi Ionisasi Pertama (kJ/mol) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | H | 1.312 | 11 | Na | 495,9 |
| 2 | He | 2.373 | 12 | Mg | 738,1 |
| 3 | Li | 529 | 13 | Al | 577,9 |
| 4 | Be | 899 | 14 | Si | 786,3 |
| 5 | B | 801 | 15 | P | 1.012 |
| 6 | C | 1.086 | 16 | S | 999,5 |
| 7 | N | 1.400 | 17 | Cl | 1.251 |
| 8 | O | 1.314 | 18 | Ar | 1.521 |
| 9 | F | 1.680 | 19 | K | 418,7 |
| 10 | Ne | 2.080 | 20 | Ca | 589,5 |

*Sumber: Nivaldo J. Tro (2015)*

## Aktivitas 3.11 Ayo Identifikasi

Bekerjalah dalam kelompok lalu jelaskan jawaban kalian secara lisan di depan kelas untuk mendapatkan tanggapan dari teman-teman!

1. Berdasarkan Gambar 3.24, bagaimana kecenderungan energi ionisasi pertama dalam satu periode dan satu golongan?




**Gambar 3.24** Energi Ionisasi Pertama Unsur-Unsur dalam Tabel Periodik

2. Cermati grafik energi ionisasi pertama pada Gambar 3.24 lalu identifikasi:
   a. Atom manakah yang memiliki energi ionisasi pertama terbesar dan terkecil?
   b. Secara umum, periode berapakah yang memiliki energi ionisasi pertama cenderung besar dan kecil? Mengapa demikian?

Jika ditinjau dalam satu golongan maka dari atas ke bawah jumlah kulit atom semakin banyak, artinya ukuran atom semakin besar. Letak elektron valensi pada atom berukuran besar berada lebih jauh ketimbang atom berukuran kecil. Oleh karena itu, atom tidak memerlukan energi yang besar untuk melepaskan elektron valensi yang letaknya lebih jauh dari inti atom. Sementara pada satu periode, dari kiri ke kanan, energi ionisasi pertama juga menampilkan data yang lebih besar. Mengapa demikian? Meskipun pada periode yang sama jumlah kulitnya juga sama, namun dengan bertambahnya nomor atom maka jumlah proton makin bertambah. Bertambahnya jumlah proton menambah kuat tarikan muatan inti terhadap elektron valensi sehingga elektron valensi lebih sulit dilepas. Dengan demikian, untuk melepaskan elektron valensi pada posisi ini diperlukan energi lebih besar.

**Keteraturan energi ionisasi pertama dalam tabel periodik**

Pada tabel periodik unsur, atom-atom logam cenderung memiliki energi ionsiasi pertama yang relatif lebih kecil, sedangkan atom nonlogam energi ionisasinya jauh lebih besar. Sementara energi ionisasi pertama atom semilogam berada di antara atom logam dan nonlogam. Oleh karena itu, atom logam cenderung membentuk ion positif dan atom nonlogam membentuk ion negatif.

## 3. Afinitas Elektron

Sifat lain yang memengaruhi sifat kimia unsur adalah kemampuan untuk menerima satu atau lebih elektron. Kemampuan ini disebut afinitas elektron. Perubahan energi yang terjadi pada saat atom gas yang netral menerima elektron menjadi ion negatif disebut **afinitas elektron**. Oleh karena ada perubahan energi maka afinitas elektron diberi simbol $\boldsymbol{E_{ea}}$. Nilai dari $E_{ea}$ bisa positif atau negatif.

Contoh:

Atom oksigen dalam keadaan gas menarik elektron menghasilkan ion oksigen berwujud gas yang bermuatan negatif satu ($O^-$). Dalam hal ini, terjadi pelepasan energi (eksotermik) sehingga nilai $E_{ea}$ adalah negatif.

$$O(g) + e^- \longrightarrow O^-(g) \quad E_{ea} = -141 \text{ kJ}$$

Sementara jika ion oksigen bermuatan negatif satu menerima elektron menghasikan ion oksigen bermuatan negatif dua justru diperlukan energi (endotermik) sehingga nilai $E_{ea}$ adalah positif.

$$O^- + e^- \longrightarrow O^{2-}(g) \quad E_{ea} = +780 \text{ kJ}$$

Berlawanan dengan energi ionisasi, afinitas elektron sulit diukur karena anion berbagai unsur tidak stabil. Diagram pada Gambar 3.25 menunjukkan afinitas elektron unsur-unsur golongan utama. Bagaimana kecenderungan afinitas elektron dari atom-atom pada tabel periodik unsur?




**Gambar 3.25** Nilai Afinitas Elektron (kJ/mol) Unsur Golongan Utama

*Sumber: Silberberg, 2003*

Dalam satu golongan, dari atas ke bawah, umumnya terdapat peningkatan nilai energi menuju ke angka yang lebih positif, artinya afinitas elektron semakin kecil. Makin ke bawah jari-jari atom semakin besar sehingga gaya tarik inti terhadap elektron valensi makin lemah. Dengan demikian, atom semakin sulit untuk mengikat elektron dari atom lainnya. Makin sedikit elektron yang dapat diikat maka makin sedikit energi yang dibebaskan sehingga makin kecil nilai afinitas elektronnya.

Dalam satu periode, dari kiri ke kanan, nilai energi makin besar negatif atau makin besar afinitas elektronnya, kecuali golongan gas mulia (VIIIA). Hal

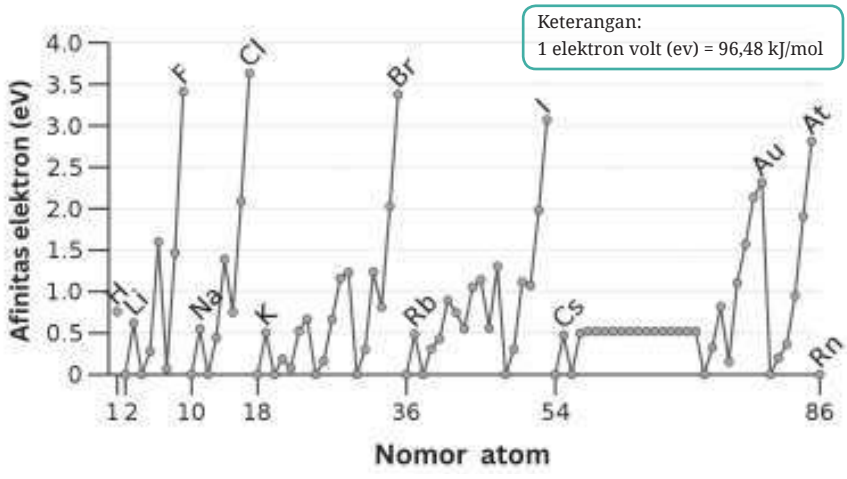
ini karena makin ke kanan jari-jari atom semakin kecil sehingga gaya tarik-menarik antara inti atom dengan elektron terluar semakin besar. Oleh karena itu, atom dalam wujud gas lebih mudah menarik elektron menghasilkan anion gas. Makin banyak elektron yang dapat diikat maka makin besar energi yang dibebaskan. Namun, pada golongan gas mulia justru nilai afinitas elektronnya menunjukkan angka paling besar positif (afinitas elektronnya terkecil). Mengapa demikian? Hal ini karena atom-atom dari unsur gas mulia bersifat inert. Artinya, atom-atom bersifat stabil, tidak menarik elektron maupun melepas elektron valensinya.

**Apa itu afinitas elektron?**

Afinitas elektron adalah energi yang dilepaskan atau diperlukan oleh suatu atom dalam wujud gas untuk menerima satu atau lebih elektron membentuk ion negatif. Angka afinitas elektron makin besar negatif berarti afinitas elektronnya makin besar. Sebaliknya, angka afinitas elektron makin besar positif berarti afinitas elektronnya makin kecil.

## Aktivitas 3.12 Ayo Identifikasi

Berdasarkan Gambar 3.26, identifikasi kecenderungan afinitas elektron unsur-unsur dalam satu periode dan satu golongan.

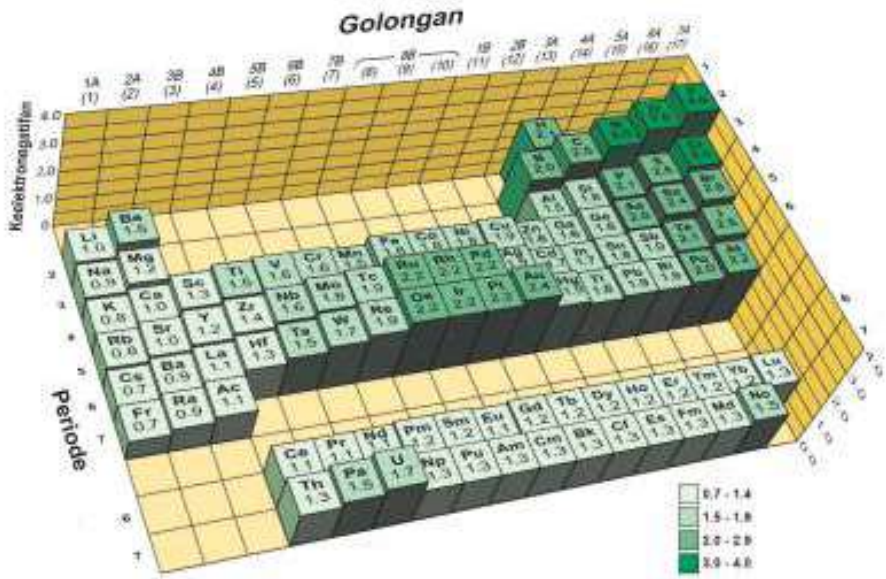



**Gambar 3.26** Afinitas Elektron Unsur-Unsur dalam Tabel Periodik

## 4. Keelektronegatifan

Kalian telah memahami bahwa afinitas elektron merupakan ukuran kemudahan bagi atom gas untuk menangkap elektron menghasilkan anion gas. Akan tetapi, belum semua unsur dapat diukur afinitas elektronnya. Oleh karena itu, untuk memberi gambaran kecenderungan atom suatu unsur menjadi ion negatif maka ditentukan sifat periodik unsur yang disebut **elektronegativitas**.

Apakah elektronegativitas? Konsep penting dalam pembentukan ikatan kimia adalah elektronegativitas. Elektronegativitas menunjukkan kecenderungan atom suatu unsur untuk menangkap elektron valensi dari atom tetangga ke arah dirinya dalam suatu ikatan kimia. Konsep tentang elektronegativitas pada awalnya diperkenalkan oleh Linus Pauling pada tahun 1932 yang memberikan skala angka dari nol hingga 4. Ayo simak skala Linus Pauling pada Gambar 3.27.




**Gambar 3.27** Skala Pauling Elektronegativitas Unsur
*Sumber: Silberberg (2003)*

Elektronegativitas bergantung pada jari-jari atom dan nomor atom unsur. Bagaimana hal ini dapat dijelaskan, ayo kerjakan Aktivitas 3.13.

## Aktivitas 3.13 Ayo Identifikasi

1. Berdasarkan Gambar 3.27, identifikasi kecenderungan elektronegativitas atom-atom dalam satu periode dan satu golongan pada tabel periodik unsur!
2. Cermati Tabel 3.9 berikut!

**Tabel 3.9** Kelektronegatifan Unsur-Unsur Periode Ketiga dan Golongan VIA

| Unsur Periode Ketiga | Golongan | Keelektro-negatifan | Unsur Golongan VIA | Periode | Keelektro-negatifan |
|---|---|---|---|---|---|
| Na | 1 | 0,9 | O | 2 | 3,5 |
| Mg | 2 | 1,2 | S | 3 | 2,6 |
| Al | 3 | 1,5 | Se | 4 | 2,5 |
| Si | 4 | 1,9 | Te | 5 | 2,3 |
| P | 5 | 2,2 | Po | 6 | 1,8 |
| S | 6 | 2,6 | | | |
| Cl | 7 | 3,2 | | | |

a. Buatlah dua buah grafik masing-masing menyatakan hubungan keelektronegatifan unsur-unsur pada periode ke-3 dan golongan VIA! Nilai keelektronegatifan ditulis pada sumbu *y*, sementara golongan dan periode masing-masing pada sumbu *x*.

b. Identifikasi kecenderungan keelektronegatifan unsur-unsur tersebut dalam satu golongan dan satu periode!

c. Mengapa kecenderungannya demikian berdasarkan besarnya jari-jari atom dan elektron valensi? Jelaskan!

**Keteraturan elektronegativitas dalam tabel periodik**

1. Dalam satu golongan dari atas ke bawah, jari-jari atom semakin besar sehingga makin lemah gaya tarik inti atom terhadap elektron valensi. Oleh karena itu, dalam satu golongan, semakin ke bawah atom cenderung lebih mudah membentuk ion positif.
2. Dalam satu periode dari kiri ke kanan, elektronegativitas semakin besar. Hal ini karena bertambahnya jumlah proton dalam inti atom sementara kulit atom tidak berubah menyebabkan gaya tarik inti atom terhadap elektron valensi menguat, sehingga makin ke kanan posisi atom akan semakin mudah membentuk ion negatif.

## 5. Perbedaan Afinitas Elektron dan Keelektronegatifan

Sekilas antara afinitas elektron dan keelektronegatifan terlihat sama, tetapi jika dicermati terdapat perbedaan konsep yang dapat dilihat pada Tabel 3.10.

**Tabel 3.10** Perbedaan Keelektronegatifan dan Afinitas Elektron

| | Keelektronegatifan | Afinitas Elektron |
|---|---|---|
| Definisi | Kecenderungan atau kemampuan atom untuk menarik elektron. | Energi yang dibebaskan atau diserap saat atom atau molekul netral dalam wujud gas menerima elektron. |
| Aplikasi | Atom | Atom dan molekul |
| Satuan | Skala Pauling | kJ/mol atau eV |
| Sifat | Kualitatif | Kuantitatif |
| Kecenderungan dalam tabel periodik unsur | Terdapat keteraturan:<br>• Dari kiri ke kanan, nilai keelektronegatifan meningkat, kecuali gas mulia.<br>• Dari atas ke bawah, nilai keelektronegatifan menurun (Gambar 3.27). | Terdapat ketidakteraturan:<br>• Dari kiri ke kanan, afinitas elektron meningkat, kecuali gas mulia.<br>• Dari atas ke bawah, terdapat ketidakteraturan nilai afinitas elektron (Gambar 3.25). |



## Intisari

1. Struktur atom terdiri atas partikel subatomik, yaitu proton, elektron, dan neutron.
2. Inti atom mengandung proton yang bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan, sehingga inti atom bermuatan positif.
3. Elektron bermuatan negatif dan bergerak mengelilingi inti atom pada lintasan atau tingkat energinya masing-masing.
4. Jumlah proton, neutron, dan elektron suatu unsur dapat ditentukan dengan melihat nomor atom dan nomor massa unsur tersebut dalam tabel periodik unsur.
   a. Jumlah proton = nomor atom
   b. Jumlah neutron = nomor massa – jumlah proton
5. Susunan elektron yang berada pada lintasan-lintasan tertentu dalam suatu atom ditentukan dengan konfigurasi elektron.
6. Elektron yang terletak pada kulit terluar dalam konfigurasi elektron disebut dengan elektron valensi.
7. Atom dari unsur-unsur yang elektron valensinya sama akan mempunyai sifat-sifat kimia yang hampir sama.
8. Konfigurasi elektron menentukan pula posisi atom suatu unsur pada periode dan golongan dalam tabel periodik unsur.
9. Jari-jari atom cenderung membesar dari atas ke bawah dalam satu golongan, namun mengecil dari kiri ke kanan dalam satu periode.
10. Energi ionisasi dan elektronegativitas atom cenderung mengecil dari atas ke bawah dalam satu golongan, namun membesar dari kiri ke kanan dalam satu periode.

## Ayo Cek Pemahaman

**Soal 1:** Jodohkan kata-kata yang tepat pada pernyataan kiri dan kanan!

| | Pernyataan | | Pernyataan | Pasangan jawaban |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Tidak bermuatan | A | Nukleus | |
| 2 | Massa relatifnya hampir sama | B | Elektron | |
| 3 | Proton | C | $-1{,}60218 \times 10^{-19}$ | |
| 4 | Elektron | D | Neutron | |
| 5 | Massanya 10.000 kali lebih kecil dari massa partikel dalam inti atom. | E | Proton dan neutron | |

**Soal 2:** Isilah kolom yang kosong pada tabel berikut!

| Lambang Atom | Nomor Atom | Nomor Massa | Muatan | Jumlah Proton | Jumlah Elektron | Jumlah Neutron |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | | 0 | | 5 | |
| | | 14 | | 6 | | 6 |
| K | | | +1 | | | |
| | | | –1 | | 18 | 18 |
| Mg | | | +2 | | | |

Dari tabel yang telah kalian isi, unsur manakah yang merupakan ion dan mana yang merupakan isotop? Berilah penjelasan berdasarkan jumlah proton, elektron, dan neutron!

**Soal 3:** Jodohkan pernyataan dengan pilihan jawaban yang tepat!

| | Pernyataan | | Jawaban | Pasangan Jawaban |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Energi dibebaskan saat atom gas menerima elektron. | A | Energi ionisasi rendah | |
| 2 | Unsur-unsur dengan kecenderungan memiliki angka elektronegativitas tinggi. | B | Bertambahnya kulit atom | |

| | Pernyataan | | Jawaban | Pasangan Jawaban |
|---|---|---|---|---|
| 3 | Unsur-unsur logam yang cenderung memiliki energi ionisasi kecil. | C | Elektronegativitas | |
| 4 | Unsur yang paling stabil karena enggan melepaskan elektron valensinya. | D | Proton dan neutron | |
| 5 | Kecenderungan jari-jari atom dalam satu golongan. | E | Elektron | |
| 6 | Partikel subatom yang berperan menentukan sifat kimia zat. | F | Gas mulia | |
| 7 | Partikel subatom yang mengisi hampir 90% volume atom. | G | Alkali | |
| 8 | Kecenderungan atom fluor untuk menarik elektron dari atom hidrogen (H) ke arah dirinya sehingga membentuk ion negatif $F^-$. | H | Ion $Ca^{2+}$ | |
| 9 | Ion yang dapat dibentuk oleh atom yang memiliki konfigurasi elektron 2.8.8.2. | I | Halogen | |
| 10 | Unsur-unsur logam | J | Afinitas elektron | |

**Soal 4:** Jawablah pertanyaan dengan tepat!

1. Suatu unsur memiliki nomor atom 16 dan nomor massa 32.
   a. Tentukan kedudukannya dalam sistem periodik unsur!
   b. Bagaimana sifat keperiodikan unsurnya dibandingkan dengan atom natrium yang bernomor atom 11 dan bernomor massa 23?
2. Disajikan unsur dengan nomor atom 3, 6, 9, 11, 15, 18, dan 20. Urutkan dari yang paling besar sifat keperiodikan berikut!
   a. jari-jari atom
   b. energi ionisasi
   c. afinitas elektron
   d. keelektronegatifan

## Proyek Akhir Bab

Pada proyek ini, kalian akan menerapkan konsep struktur, sifat atom, dan sifat keperiodikan unsur **logam tanah jarang** (LTJ). Sebelum itu, bacalah artikel berikut ini.

### Lumpur Lapindo, Komoditas Logam Tanah Jarang



**Gambar 3.28** Lumpur Lapindo Mengandung Logam Tanah Jarang
*Sumber: Fadillah Jafar/panoramio.com*

Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengungkapkan potensi kandungan logam tanah jarang (LTJ) atau *rare earth* yang berasal dari lumpur Lapindo, Sidoarjo, Jawa Timur. Hal ini dikemukakan oleh Kepala Badan Geologi Kementerian ESDM dalam jumpa pers virtual di Jakarta, Rabu 20 Januari 2021.

Logam tanah jarang merupakan salah satu mineral yang jadi perhatian dunia karena dibutuhkan dalam pengembangan kendaraan listrik. Selain itu, logam tanah jarang merupakan komoditas mineral berkualitas tinggi yang menjadi bahan baku dalam industri pertahanan sebagai bahan pembuat peralatan militer, mesin jet, satelit, dan laser.

Menurut American Geosciences Institute, logam tanah jarang adalah rangkaian dari 17 unsur yang di dalamnya termasuk 15 lantanida dalam tabel periodik, ditambah skandium dan itrium. Berdasarkan US Geological Survey, ada lebih dari 200 produk yang menggunakan logam tanah jarang, khususnya teknologi seperti ponsel, televisi layar datar, kendaraan elektrik hibrid, hingga nanoteknologi.

Meski sebetulnya logam tanah jarang sudah ada sejak bumi terbentuk, keberadaannya baru disadari pada akhir abad ke-18. Menurut sumber Britannica, penemuannya bermula ketika seorang Letnan Carl Axel Arrhenius asal Swedia menemukan mineral berwarna hitam pada tahun 1787 di Ytterby, sebuah kota kecil dekat Stockholm. Pada tahun 1803, elemen yang berhasil diisolasi adalah cerium. Selanjutnya, unsur tanah jarang yang terbentuk secara alami dan terakhir ditemukan adalah lutetium pada tahun 1907.

*Sumber: https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-5917443/mengenal-logam-tanah-jarang-si-harta-karun-lumpur-lapindo.*

---

Analisis artikel tersebut lalu berdiskusilah dalam kelompok untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Bagaimana pendapat kalian terhadap fenomena alam munculnya lumpur Lapindo terkait kandungan LTJ?
2. Apakah yang dimaksud dengan LTJ?
3. Berilah contoh-contoh LTJ!
4. Identifikasi posisi LTJ pada tabel sistem periodik unsur!
5. Bagaimana sifat keperiodikan unsur pada LTJ?
6. Pilihlah salah satu unsur LTJ lalu identifikasi partikel subatomiknya serta pemanfatannya dalam nanoteknologi. Carilah informasi terlebih dahulu tentang pengertian nanoteknologi!

Tulislah jawaban kelompok kalian dalam bentuk poster atau infografis pada media Canva. Unggah ke akun media sosial kalian untuk mendapat tanggapan dari teman-teman kalian!

## Pengayaan

Bagi kalian yang ingin mempelajari lebih jauh dan mendalam tentang isotop, ayo baca artikel berikut lalu kerjakan soal-soalnya.

Menurut sumber cnbcindonesia.com pada 7 Agustus 2023 dengan judul berita "Pabrik Nikel Menjamur, Investasi di 2023 Tembus Rp39 Triliun", Indonesia adalah negara yang memiliki deposit nikel terbesar di dunia, yakni menguasai 21% cadangan nikel dunia. Adapun dari sisi produksi, Indonesia menjadi negara nomor satu yang menguasai 48% pasokan nikel dunia. Salah satu pabrik nikel terbesar di dunia dari sisi kapasitas industri berdiri di Pulau Obi, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara.

Terdapat lima isotop nikel di alam, yaitu $^{58}$Ni, $^{60}$Ni, $^{61}$Ni, $^{62}$Ni, dan $^{64}$Ni. Berdasarkan Tabel 3.10, nikel-58 paling melimpah jumlahnya mencapai 68,0769% dari total kelimpahan nikel di alam.

**Tabel 3.11** Kelimpahan Isotop Nikel di Alam

| Isotop | Kelimpahan (%) |
|---|---|
| $^{58}$Ni | 68,0769 |
| $^{60}$Ni | 26,2231 |
| $^{61}$Ni | 1,1399 |
| $^{62}$Ni | 3,6345 |
| $^{64}$Ni | 0,9256 |

*Sumber: https://www-webelements-com.translate.goog/nickel/isotopes.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc*

Berdasarkan artikel tersebut, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Apakah pengertian isotop?
2. Tentukan jumlah proton, neutron, dan elektron pada tiap isotop nikel!
3. Bagaimana sifat kimia isotop-isotop tersebut?
4. Jelaskan sifat keperiodikan dari atom Ni-58!
5. Tentukan massa rata-rata satu atom nikel dalam sma!

## Ayo Berefleksi

Setelah mempelajari seluruh bab ini, ayo lakukan refleksi dengan menjawab pertanyaan berikut.

1. Materi apa sajakah yang telah kalian pahami dengan baik?
2. Materi apa sajakah yang kalian rasakan masih ragu-ragu?
3. Materi apa sajakah yang belum kalian pahami?

Jika kalian masih ragu-ragu dan belum paham, ayo pelajari kembali materi-materi tersebut pada buku ini dipandu oleh guru kalian.

Di sinilah akhir dari petualangan kalian mempelajari Bab Struktur Atom  Fakta di Balik Materi. Sekarang, saatnya kalian melihat lagi pertanyaan-pertanyaan yang ada pada awal bab, adakah pertanyaan yang belum terjawab?

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI**
**REPUBLIK INDONESIA, 2023**
Ilmu Pengetahuan Alam untuk SMA/MA Kelas X (Edisi Revisi)
Penulis : Niken Resminingpuri Krisdianti, Elizabeth Tjahjadarmawan, Ayuk Ratna Puspaningsih
ISBN : 978-623-118-461-0 (jil.1 PDF)



*Sumber: freepik/freepik.com (2023)*

# Bab IV

# Hukum Dasar Kimia di Sekitar Kita

■ Bagaimana membuktikan bahwa atom-atom dalam batuan mineral tersusun dengan perbandingan tertentu dan tetap?

## Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini kalian akan berlatih menjadi ahli kimia yang menerapkan konsep kimia dalam kehidupan sehari-hari dengan mengevaluasi cara menuliskan persamaan reaksi kimia setara dan membuktikan empat hukum dasar kimia melalui hitungan.

## Peta Konsep

**HUKUM DASAR KIMIA**

terdiri atas

| Hukum Lavoisier | Hukum Proust | Hukum Dalton | Hukum Gay Lussac |
|---|---|---|---|
| menjelaskan | menjelaskan | menjelaskan | menjelaskan |
| Massa zat-zat sebelum reaksi sama dengan massa zat-zat sesudah reaksi (massa zat bersifat kekal). | Perbandingan massa dari unsur-unsur yang menyusun suatu senyawa itu selalu tetap. | Jika dua unsur dapat membentuk lebih dari satu senyawa maka perbandingan massa dari unsur yang satu dalam senyawa-senyawa tersebut merupakan bilangan bulat sederhana, sementara massa unsur lainnya dibuat tetap. | Volume gas-gas yang bereaksi dan hasil reaksi berbanding sebagai bilangan-bilangan bulat dan sederhana apabila diukur pada suhu dan tekanan yang sama. |
| contohnya | contohnya | contohnya | contohnya |
| Massa paku + air + botol sebelum bereaksi sama dengan massa paku + air + botol sesudah reaksi dalam peristiwa perkaratan. | Perbandingan massa atom H terhadap O yang menyusun $H_2O$ selalu 1 : 8. Hal ini berlaku untuk semua air (air sumur, air hujan, air mineral, dan sebagainya. | Unsur C dan O dapat membentuk senyawa CO dan $CO_2$. Dalam senyawa CO, perbandingan C terhadap O adalah 3 : 4, sedangkan dalam senyawa $CO_2$ perbandingan C terhadap O adalah 3 : 8. | $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$<br>Perbandingan volume gas $H_2$ terhadap gas $O_2$ terhadap uap $H_2O$ adalah 2 : 1 : 2 merupakan bilangan bulat dan sederhana. |

## Kata Kunci

- persamaan reaksi kimia
- hukum Lavoisier
- hukum Proust
- hukum Dalton
- hukum Gay Lussac

Tahukah kalian bahwa Indonesia adalah negara yang memiliki deposit nikel laterit terbesar di dunia sehingga berpeluang menjadi sentral mata rantai produksi kendaraan listrik dunia. Daerah Moramo di Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara adalah salah satu daerah dengan deposit mineral laterit terbanyak di Indonesia. Apakah mineral laterit? Menurut Burger (1996), laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co. Jika laterit mengandung nikel maka ciri-ciri yang dapat diamati adalah adanya oksida logam berwarna cokelat kemerahan karena mengandung Co (kobalt) dan Fe (besi) (Cahit *et al*., 2017).

Tahukah kalian bahwa oksida merupakan zat yang mengandung atom oksigen? Mineral nikel oksida selalu terdapat dalam rumus molekul NiO, demikian pula mineral kobalt oksida selalu terdapat sebagai CoO. Mengapa demikian? Penjelasan tentang perbandingan massa Ni dan O maupun Co dan O dalam mineral laterit atau campuran logam lainnya sangat berkaitan dengan hukum-hukum dasar kimia.

## A. Ciri-ciri, Jenis, dan Cara Menuliskan Reaksi Kimia

Pada bab III, kalian telah mengenal atom, partikel subatomik, serta sifat dan keteraturan unsur-unsur dalam tabel periodik. Semua materi terdiri atas atom, partikel kecil yang tidak dapat dibagi lagi, diciptakan, atau dimusnahkan. Democritus pada 400 SM telah mengusulkan bahwa atom sebagai partikel terkecil dan sifat-sifat atom menentukan sifat materi. Pada awal abad ke-19 pendapat ini muncul kembali ketika ahli kimia mulai mengukur massa reaktan dan produk untuk menjelaskan banyak hukum yang telah ditetapkan pada abad sebelumnya,

Kalian juga telah mengenal teori atom Dalton. Konsep persamaan reaksi kimia dilandasi oleh teori atom Dalton yang menyatakan bahwa suatu unsur kimia terdiri atas partikel-partikel kecil (atom) yang semuanya memiliki sifat kimia yang sama. Selain itu, atom-atom dari unsur yang berbeda mempunyai sifat yang berbeda dan atom-atom ini tidak berubah selama reaksi kimia biasa. Senyawa terbentuk dengan menggabungkan atom-atom dari unsur-unsur yang berbeda dalam perbandingan bilangan bulat sederhana dan tertentu.

Reaksi kimia menjadi bagian dalam kehidupan. Bagaimana kita mengetahui bahwa telah terjadi reaksi kimia? Apa dan bagaimana ciri terjadinya reaksi kimia? Ayo bernalar kritis dan kreatif dengan melakukan Aktivitas 4.1 berikut.

## Aktivitas 4.1 Ayo Mengamati

Buatlah Tabel 4.1 pada buku kalian lalu amati ciri-ciri reaksi kimia yang terjadi di sekitar kalian!

**Tabel 4.1** Pengamatan Reaksi Kimia di Sekitar Kita

| Reaksi Kimia | Pengamatan Terhadap Ciri-Ciri Reaksi Kimia yang Terjadi |
|---|---|
| Pembakaran | |
| Perkaratan | |
| Fermentasi | |
| Pengendapan | |
| Pembusukan | |

Apakah kesimpulan kalian terhadap ciri-ciri masing-masing reaksi kimia tersebut?

Cocokkan jawaban kalian dengan penjelasan materi berikut ini.

Keempat ciri reaksi kimia itu adalah reaksi perubahan energi panas atau cahaya, perubahan warna, pembentukan endapan, dan pembentukan gas. Mari kita bahas satu per satu ciri-ciri reaksi kimia tersebut.

### 1. Perubahan Energi Panas dan Cahaya

Salah satu contoh reaksi kimia yang menghasilkan perubahan energi panas dan cahaya adalah reaksi pembakaran. Reaksi pembakaran adalah reaksi antara suatu bahan kimia dengan gas oksigen. Contohnya reaksi pembakaran fosfor ($P_4$) sebagai bahan pembuat kembang api. Sifat fosfor ($P_4$) sangat reaktif sehingga saat bertemu gas oksigen ($O_2$) langsung bereaksi menghasilkan panas dan cahaya terang.

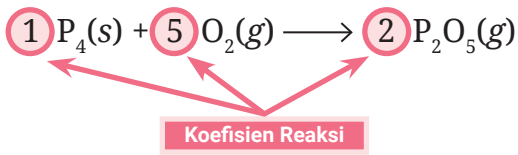
Mari kita lihat persamaan reaksi pembakaran fosfor.

$$P_4(s) + ?O_2(g) \longrightarrow ?P_2O_5(g)$$

Persamaan reaksi kimia pembakaran fosfor tersebut belum setara karena jumlah atom-atom sejenis di sebelah kiri maupun kanan tanda panah tidak sama. Atom P di sebelah kiri tanda panah berjumlah empat, sedangkan di sebelah kanan berjumlah dua. Atom O di sebelah kiri tanda panah ada dua, sedangkan di kanan ada lima. Tidak sama, bukan?

Untuk menuliskan persamaan reaksi setara, pastikan jumlah atom-atom sebelum dan sesudah reaksi sama. Untuk itu, kita dapat memberi **koefisien reaksi,** yaitu angka yang terletak di depan setiap rumus molekul zat. Perlu diingat, yang boleh kita ubah adalah koefisien reaksi, sedangkan rumus molekul tidak boleh diubah. Manakah koefisien reaksi?

Perhatikan persamaan reaksi setara berikut!




Setelah menambahkan koefisien reaksi maka jumlah atom P, baik di kiri maupun kanan berjumlah empat, sedangkan atom O berjumlah sepuluh. Dengan demikian, persamaan reaksi di atas dikatakan setara.

## 2. Perubahan Warna

Reaksi kimia yang ditandai dengan perubahan warna dijumpai misalnya pada reaksi perkaratan atau korosi pada benda yang terbuat dari besi. Reaksi perkaratan pada besi terjadi karena besi (Fe) bereaksi dengan gas oksigen ($O_2$) dan air ($H_2O$) menghasilkan lapisan karat tipis kemerahan, yaitu $Fe_2O_3.xH_2O$.

Persamaan reaksi kimia setara untuk perkaratan besi ditulis sebagai berikut.

$$4Fe(s) + 3O_2(g) + xH_2O(l) \longrightarrow 2Fe_2O_3.xH_2O(s)$$

Melihat persamaan reaksi itu tentu kalian sudah memahami manakah koefisien reaksi. Salah satu koefisien reaksi ditulis dengan huruf "*x*" di depan molekul $H_2O$. Huruf "*x*" merupakan koefisien reaksi berupa angka yang besarnya bergantung pada rumus kimia senyawa karat yang terbentuk.

### 3. Pembentukan Endapan

Reaksi kimia yang ditandai dengan pembentukan endapan contohnya pada reaksi air kapur ($Ca(OH)_2$) yang ditambahkan soda kue ($NaHCO_3$). Reaksi kedua zat itu akan menghasilkan endapan kapur berwarna putih ($CaCO_3$).

Persamaan reaksi kimia setaranya adalah sebagai berikut.

$$Ca(OH)_2(aq) + NaHCO_3(s) \longrightarrow \underset{\substack{\text{endapan}\\\text{putih}}}{CaCO_3(s)} + NaOH(aq) + H_2O(l)$$

Dari persamaan reaksi setara di atas, berapakah koefisien reaksinya? Setiap zat koefisien reaksinya satu, bukan? Angka satu umumnya tidak ditulis dalam persamaan reaksi.

### 4. Timbulnya Gas

Contoh reaksi kimia yang menghasilkan gas antara lain pada proses fermentasi anaerob menghasilkan gas karbon dioksida ($CO_2$). Reaksi seperti ini dijumpai pada pembuatan pupuk organik cair yang mengandung glukosa ($C_6H_{12}O_6$).

Persamaan reaksi kimia setaranya, yaitu:

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

Contoh reaksi lainnya adalah pada reaksi pembusukan sampah organik dari sisa tanaman dan hewan oleh bakteri desulfovibrio atau desulfuromonas yang melepaskan gas hidrogen sulfida ($H_2S$).

Persamaan reaksi kimia yang setaranya adalah:

$$2CH_2O(g) + 2H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) \longrightarrow H_2S(g) + 2CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

Setelah memahami cara menulis persamaan reaksi kimia setara, sekarang kita akan mengenal arti koefisien reaksi terhadap satuan jumlah zat.

**Apa itu reaksi kimia?**

Reaksi kimia merupakan perubahan kimia yang menghasilkan zat-zat baru yang memiliki sifat berbeda dari sifat zat asalnya.

Fakta Sains

## Bilangan Avogadro dan Jumlah Mol

Setiap zat pada persamaan reaksi kimia memiliki jumlah zat yang sama dengan angka koefisien reaksinya. Apakah maksud jumlah zat itu? Ingat kembali tujuh besaran pokok dalam satuan internasional (SI). Salah satu besaran pokok tersebut adalah jumlah zat yang mempunyai satuan **mol**. Jadi, koefisien reaksi setara dengan jumlah mol zat tersebut. Avogadro mengemukakan hipotesisnya bahwa pada suhu dan tekanan yang sama, volume gas-gas yang berbeda memiliki jumlah partikel yang sama.



**Gambar 4.1** Amedeo Avogadro (1776–1856)

Apakah mol itu? Mol adalah banyaknya suatu zat yang mengandung partikel elementer (atom, molekul, senyawa, atau lainnya) sebanyak jumlah atom yang terdapat dalam tepat 12 gram karbon (C) bernomor atom 12. Jumlah ini disebut bilangan Avogadro ($N_A$).

Untuk memahami konsep bilangan Avogadro dapat dianalogikan dengan ukuran lusin. Kalian tahu bahwa 1 lusin sama dengan 12 buah. Jadi, jika ada 1 lusin molekul maka ada 12 buah molekul. Nah, lusin di sini dianggap sebagai mol. Dengan adanya bilangan Avogadro maka para ilmuwan dapat membandingkan bilangan yang sangat besar yang terdapat dalam atom dan molekul.

$$N_A = 6{,}022 \times 10^{23} \text{ partikel yang menyusun 1 mol suatu zat}$$

Bilangan Avogadro sangat penting untuk memahami susunan molekul serta interaksi dan kombinasinya. Misalnya dalam 1 molekul air ($H_2O$) terdiri atas 1 atom oksigen yang bergabung dengan 2 atom hidrogen, maka dalam bilangan Avogadro dinyatakan bahwa dalam 1 mol air terdapat 1 mol oksigen ($1 \times 6{,}022 \times 10^{23}$ atom O) yang bergabung dengan 2 mol hidrogen ($2 \times 6{,}022 \times 10^{23}$ atom H).

*(Materi ini akan dijelaskan lebih mendalam di kelas XI).*

## B. Empat Hukum Dasar Kimia

Setelah mempelajari ciri, jenis, dan persamaan reaksi kimia, tentu kalian sudah memahami salah satu reaksi kimia yang ada di sekitar kita, misalnya reaksi pembakaran. Bagaimana membuktikan teori terkait reaksi pembakaran? Ayo lakukan Aktivitas 4.2.



**Aktivitas 4.2** **Ayo Bereksperimen**

### Reaksi Pembakaran Logam

**Tujuan Percobaan**

Membuktikan teori terkait reaksi pembakaran logam.

**Alat dan Bahan**

1. Timbangan
2. Lilin dan korek api
3. Mangkuk untuk menampung hasil pembakaran
4. Penjepit kayu
5. Pita magnesium sepanjang 6-8 cm

**Cara Kerja**

1. Gunakan terlebih dahulu alat pelindung diri seperti masker, kacamata pelindung, dan sarung tangan. Berhati-hatilah saat melakukan percobaan. Potensi bahaya pembakaran antara lain percikan api yang bisa menyebabkan luka bakar dan abu dari hasil pembakaran dapat terhirup.
2. Timbanglah massa pita magnesium lalu catat hasilnya.
3. Timbanglah mangkuk kosong untuk menampung hasil pembakaran lalu catat hasilnya.
4. Jepitlah pita magnesium dengan penjepit kayu. Bakarlah pita magnesium di atas nyala lilin.
5. Tampunglah abu hasil pembakaran ke dalam mangkuk (tampung semua, jangan sampai ada yang tercecer).
6. Timbang mangkuk berisi abu hasil pembakaran lalu catatlah hasilnya.
7. Tulislah semua hasil percobaan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Percobaan Reaksi Pembakaran Logam

| | |
|---|---|
| Massa sebelum pita Mg dibakar = *a* gram | |
| Massa mangkuk = *x* gram | |
| Massa mangkuk + abu hasil pembakaran = *y* gram | |
| Massa abu hasil pembakaran = (*y* – *x*) gram | |
| Massa sesudah pita Mg dibakar = *b* gram | |
| Dari manakah pertambahan massa setelah reaksi pembakaran? | |
| Persamaan reaksi kimia pembakaran pita magnesium (Mg) dengan gas oksigen ($O_2$) menghasilkan abu magnesium oksida (MgO). | |

8. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan kalian. Bagaimana massa pita Mg sebelum dan sesudah pembakaran?

Hasil percobaan dan kesimpulan yang sudah kalian dapatkan merupakan konsep reaksi pembakaran yang pernah dilakukan oleh ilmuwan bernama Robert Boyle. Meskipun terkenal dengan hukum Boyle yang membahas tentang gas, Boyle juga melakukan percobaan membakar logam magnesium. Hasil percobaan membuktikan bahwa massa hasil pembakaran (magnesium oksida) lebih besar ketimbang massa logam magnesium sebelum dibakar.

Selanjutnya, Boyle meminta rekannya yang bernama Mikhail Lomonosov untuk mengulangi percobaan tersebut. Ternyata, hasil percobaannya sama dengan hasil yang sudah Boyle lakukan. Oleh karena itu, pada tahun 1753, Lomonosov menyatakan bahwa teori flogiston salah. Apakah teori flogiston itu? Apakah hubungannya dengan percobaan yang dilakukan Boyle?

Sebelum orang mengenal teori yang benar terkait reaksi pembakaran saat ini, ternyata ada teori yang dipercayai oleh para ilmuwan pada masa itu selama lebih dari 100 tahun. Teori yang dimaksud adalah teori flogiston. Bagaimana sejarahnya? Mari baca artikel berikut untuk memahami sejarah perkembangan teori terkait reaksi pembakaran.

Fakta Sains

## Sejarah Awal Teori *Flogiston*

Pada tahun 1669, Johann Joachim Becher seorang ilmuwan kimia Jerman mencetuskan idenya tentang pembakaran logam. Hal ini menjadi dasar munculnya teori *flogiston*. Becher beralasan bahwa bahan yang terbakar harus mengandung komponen yang mudah terbakar, yaitu elemen api (*terra pinguis*). Pandangan Becher ini memperbarui prinsip kimia sebelumnya yang menyatakan bahwa suatu bahan terdiri atas proporsi yang berbeda dari empat elemen, yaitu tanah, udara, api, dan air.



**Gambar 4.2** Johann Joachim Becher (1635-1682)

Dalam teori Becher disebutkan bahwa benda mudah terbakar karena hanya terdapat elemen api. Selama pembakaran, komponen ini dilepaskan ke udara ditandai dengan timbulnya nyala api. Selain itu, dinyatakan bahwa terdapat residu, misalnya abu kayu, yang massanya lebih ringan dari bahan aslinya. Demikian pula saat memanaskan logam di udara akan dihasilkan *calx* yang lebih ringan dari logam. Hal ini membuktikan bahwa ada sesuatu yang hilang.



**Gambar 4.3** Georg Ernst Stahl (1660–1734)

Pada pertengahan abad ke-18, masalah paling penting dalam ilmu kimia dan fisika adalah menentukan apa yang sebenarnya terjadi ketika sesuatu terbakar. Saat itu, gas oksigen belum ditemukan. Tepatnya pada tahun 1703, Georg Ernst Stahl, seorang ilmuwan kimia Jerman, mengembangkan teori Becher. Ia mengemukakan istilah "*flogiston*" yang sebelumnya dikenal dengan nama *terra pinguis*. Dalam bahasa Yunani, *flogiston* berarti terbakar. Adapun teori Stahl mencakup ide-ide berikut.

1. Semua zat yang mudah terbakar mengandung *flogiston*.
2. Semakin banyak *flogiston* yang dikandung suatu zat, semakin baik dan lebih sempurna pembakarannya.
3. Pembakaran melepaskan *flogiston* dari zat ke udara.
4. Nyala api menunjukkan lepasnya *flogiston* dengan cepat.
5. Udara diperlukan untuk pembakaran karena menyerap *flogiston* yang keluar.
6. Pembakaran dalam wadah tertutup segera terhenti karena udara di dalamnya menjadi jenuh dengan *flogiston*.
7. Udara diperlukan untuk bernapas. Makhluk yang ditempatkan dalam wadah tertutup akan mati karena udara tidak dapat lagi menyerap *flogiston*, sehingga tidak dapat lagi menopang kehidupan.
8. Residu atau abu yang tertinggal setelah pembakaran disebut *calx*.
9. Massa *calx* lebih ringan dari bahan sebelum dibakar.

Teori *flogiston* memang menjelaskan banyak karakteristik terkait pembakaran, tetapi saat melakukan pembakaran logam justru hal sebaliknya terjadi. Akhirnya, teori ini dipatahkan karena ternyata jika logam dibakar massanya justru bertambah.

*Sumber: Mike Tingle/edu.rsc.org (2014)*

Setelah menganalisis informasi di atas, kesimpulan apakah yang kalian peroleh terkait teori *flogiston*? Lalu, bagaimana kelanjutannya? Pada tahun 1774, Joseph Priestley seorang ilmuwan berusaha membuktikan kebenaran teori flogiston dengan cara membakar logam merkuri (Hg). Hasil pembakaran berupa senyawa merkuri oksida (HgO) yang kemudian dipanaskan lagi. Hasil pembakarannya berupa gas yang oleh Priestley dinamai *deplogisticated gas* yang sifatnya berbeda dari senyawa sebelumnya. Kendati demikian, Priestley belum berhasil memahami hasil temuannya.

Pada bab III, kalian telah mempelajari tentang teori atom Dalton. Teori ini menjadi dasar dalam menjelaskan hukum massa, yaitu atom tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan (postulat ke-1) atau diubah menjadi atom jenis lain (postulat ke-2) karena setiap jenis atom mempunyai massa tetap (postulat

ke-3). Suatu reaksi kimia, di mana atom-atom hanya bergabung berbeda satu sama lain, tidak mungkin menghasilkan perubahan massa. Teori Dalton juga menjadi landasan hukum perbandingan tetap, yaitu senyawa adalah suatu gabungan atom-atom yang berbeda dengan perbandingan tertentu (postulat ke-4), yang masing-masing mempunyai massa tertentu (postulat ke-3). Jadi, setiap unsur dalam suatu senyawa merupakan bagian tetap dari massa total.

Hukum perbandingan berganda juga dilatarbelakangi oleh teori atom Dalton. Atom-atom suatu unsur mempunyai massa yang sama (postulat ke-3) dan tidak dapat dibagi (postulat ke-1). Massa unsur B yang bergabung dengan massa tetap unsur A memberikan perbandingan bilangan bulat yang kecil karena berbeda jumlah atom B yang bergabung dengan setiap atom A dalam senyawa yang berbeda. Mari kita bahas satu per satu konsep dasar keempat hukum dasar kimia.

## 1. Hukum Kekekalan Massa (Hukum Lavoisier)

Bapak kimia modern berkebangsaan Perancis bernama Antoine Laviosier (1743–1794) menyangkal keberadaan *flogiston*. Lavoisier melakukan percobaan dengan menggunakan *deplogisticated gas* hasil temuan Joseph Priestley. Antoine Lavoisier menamai *deplogisticated gas* sebagai gas oksigen ($O_2$). Laviosier menunjukkan bahwa proses pembakaran membutuhkan gas $O_2$ dengan massa tertentu yang dapat diukur dengan menimbang wadah tertutup.



**Gambar 4.4** Antoine Laviosier (1743–1794)

Lavoisier menempatkan lilin yang menyala di dalam stoples kaca yang tertutup rapat. Ketika sumbu terbakar dan lilin meleleh, berat stoples dan isinya tetap sama. Sementara pada saat itu, para ahli kimia sedang mengeksplorasi pembentukan *calx* (suatu oksida) dan memperkirakan bahwa logam kehilangan massanya saat dibakar. Lavoisier membantah hal ini. Melalui percobaannya, Lavoisier justru menemukan bahwa massa logam bertambah berat karena bergabung dengan gas oksigen dari udara. Kesimpulan dari eksperimennya menyatakan bahwa zat bernama *flogiston* dalam proses pembakaran itu tidak pernah ada. Mengapa? Karena terbakarnya sebuah benda terjadi apabila oksigen bertemu dengan bahan yang terbakar.

Berdasarkan ulasan sejarah perkembangan teori terkait pembakaran, bagaimana perbedaan teori *flogiston* terhadap teori terkait pembakaran yang dikenal saat ini? Ayo lakukan Aktivitas 4.3 untuk melatih dimensi bernalar kritis.



## Aktivitas 4.3 Ayo Identifikasi

Tulislah benar atau salah pada kolom berikut!

| No. | Pernyataan | Benar atau Salah |
|---|---|---|
| 1. | Dalam percobaannya, Lavoisier menemukan bahwa massa logam bertambah berat karena bergabung dengan gas oksigen ($O_2$) dari udara. Hal ini mendukung bahwa zat bernama *flogiston* diperlukan dalam proses pembakaran karena terbakarnya sebuah benda terjadi apabila oksigen bertemu dengan bahan yang terbakar. | |
| 2. | Membakar sate dengan cara mengipas arang yang menyala membuktikan bahwa gas oksigen dari udara dibutuhkan agar pembakaran tetap berlangsung. Hal ini menyangkal keberadaan *flogiston*. | |
| 3. | Ahli kimia melakukan percobaan pembentukan *calx* (abu, debu) dengan cara membakar logam. Hasil percobaan menunjukkan bahwa logam kehilangan massanya saat dibakar karena lepasnya *flogiston* yang terdapat dalam benda. | |

Terkait perhitungan pada eksperimen Lavoisier ternyata gabungan massa merkuri dan oksigen sama dengan massa merkuri oksida. Berkat temuannya ini, Lavoisier menjadi orang pertama yang mencetuskan prinsip kekekalan massa dalam reaksi kimia. Menurutnya, reaksi kimia dapat menyusun ulang unsur-unsur yang ada dalam zat-zat yang bereaksi, tetapi tidak menghancurkan massa yang terlibat dalam reaksi tersebut. Jadi, massa zat tidak bisa diciptakan maupun dimusnahkan, baik dalam proses kimia maupun fisika. Hasil akhir reaksi menyatakan bahwa dalam ruang tertutup, zat-zat akan memiliki massa yang sama dengan zat-zat penyusunnya. Inilah yang disebut **hukum kekekalan massa**. Bagaimana perhitungannya? Ayo perhatikan contoh berikut.

**Contoh**

Seorang siswa memanaskan 10 gram serbuk Zn dengan 2 gram serbuk belerang (S). Hasil percobaan menunjukkan terbentuk endapan hitam ZnS sebanyak 6,08 gram dan sisa serbuk Zn yang tidak bereaksi 5,92 gram.

a. Tulislah persamaan reaksi kimia setara yang terjadi!
b. Ciri-ciri reaksi kimia manakah yang tepat untuk kasus ini?
c. Bagaimana kalian membuktikan hukum kekekalan massa berlaku pada kasus ini?

Pembahasan:

a. $Zn(s) + S(s) \longrightarrow ZnS(s)$
b. Reaksi kimia ditandai dengan perubahan warna.
c. 10 g Zn bereaksi dengan 2 g S menghasilkan 6,08 g ZnS.
   Sisa Zn adalah 5,92 g maka Zn yang bereaksi adalah (10 – 5,92) g = 4,08 g
   Massa total zat sebelum bereaksi = (4,08 + 2) g = 6,08 g
   Massa zat sesudah bereaksi = 6,08 g

   jadi, hukum kekekalan massa terbukti karena dalam ruang tertutup massa zat sebelum dan sesudah reaksi adalah sama, yaitu 6,08 g.

Penemuan Lavoisier terhadap hukum kekekalan massa membawa revolusi kimia tentang pentingnya suatu pengukuran. Setelah Lavoisier mengemukakan hukum kekekalan massa yang ditulis dalam bukunya *Traite Elementaire de Chimie* maka ahli-ahli kimia mulai terinspirasi untuk menyelidiki aspek kuantitatif dari reaksi kimia. Dengan demikian, lahirlah hukum kimia berikutnya, yaitu **hukum perbandingan tetap**.

Sebelum mempelajari hukum perbandingan tetap, marilah kita pahami apa itu massa atom relatif ($A_r$) dan massa molekul relatif ($M_r$). Telah kita ketahui bahwa nomor massa suatu atom merupakan jumlah proton dan neutron dalam inti atom. Lalu, bagaimana dengan jumlah elektron? Dalam hal ini, jumlah elektron diabaikan karena memiliki massa yang jauh lebih kecil dari proton dan neutron. Dengan demikian, nomor massa merupakan massa atom, yaitu partikel proton dan neutron. Massa partikel ini dinyatakan dalam satuan massa atom (sma) atau Dalton (Da). Lalu, bagaimana sebenarnya cara menentukan massa atom? Apakah atom-atom itu ditimbang? Mari kita cermati ulasan berikut.

Fakta Sains

## Massa Atom Relatif dan Massa Molekul Relatif

Atom berukuran sangat kecil sehingga kita tidak bisa menimbang sebuah atom. Meski demikian, kita dapat menentukan massa atom suatu unsur dengan cara membandingkannya dengan atom unsur yang lain. Oleh karena itu, diperlukan unsur yang dapat dijadikan sebagai pembanding. Massa atom suatu unsur mempunyai istilah massa atom relatif yang diberi notasi $A_r$. Massa atom relatif merupakan massa atom rata-rata unsur tersebut terhadap 1/12 massa atom C dengan nomor atom 12. Jadi, $A_r$ merupakan perbandingan yang dalam bentuk persamaan matematis ditulis sebagai berikut.

$$A_r = \frac{\text{massa rata-rata atom unsur X}}{\frac{1}{12} \times \text{massa atom unsur C-12}}$$

Ingatlah, bahwa $A_r$ di sini sudah tidak memiliki satuan. Mengapa demikian?

Menurut Dalton, baik atom-atom sejenis maupun yang berbeda jenis, dapat bergabung membentuk molekul. Nah, jika demikian maka bagaimana caranya menentukan massa molekul? Dalam hal ini yang dihitung adalah massa molekul relatif atau ditulis sebagai $M_r$. Sebagai contoh, molekul air ($H_2O$) yang disusun dari 2 atom H dan 1 atom O. Atom H memiliki $A_r$ = 1, sedangkan atom O mempunyai $A_r$ = 16. Jika kalian gabungkan, diperoleh perhitungan berikut.

$$M_r = 2 \times A_r \text{ H} + 1 \times A_r \text{ O}$$
$$= 2 \times 1 + 1(16)$$
$$= 18$$

## Hubungan Massa Satu Mol Zat Terhadap Massa Molekul Relatif Rata-Rata

Terkait hubungan massa satu mol zat terhadap massa molekul relatif rata-rata zat tersebut, mari kita pelajari sifat lain dari bilangan Avogadro yang sudah diulas pada bagian terdahulu. Ayo simak contoh berikut!

**Contoh**

Berapakah massa 2 mol air ($H_2O$) jika diketahui $A_r$ H = 1 dan O = 16?

Uraian jawaban:

Massa molekul relatif rata-rata dari air dihitung sebagai berikut.

$M_r\ H_2O = 2 \times A_r\ H + 1 \times A_r\ O$

$= 2 \times 1 + 1(16)$

$= 18$ (tanpa satuan)

Maka, massa satu mol air adalah 18 gram sehingga massa 2 mol air adalah $2 \times 18 = 36$ gram.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa 1 mol zat setara dengan $A_r$ atau $M_r$ zat tersebut.

*(Materi ini akan kalian pelajari lebih mendalam di kelas XI)*

Untuk membuktikan hukum kekekalan massa, ayo lakukan Aktivitas 4.4 menggunakan bahan-bahan yang ada di sekitar kalian. Kalian akan mengasah dimensi kreatif melalui aktivitas ini.

## Aktivitas 4.4 Ayo Bereksperimen

Pada aktivitas ini, kalian akan melakukan percobaan balon ajaib seperti pada gambar berikut.




**Gambar 4.5** Percobaan Balon Ajaib

Persamaan reaksi kimia antara cuka ($CH_3COOH$) dan soda kue ($NaHCO_3$):
$__CH_3COOH(aq) + __NaHCO_3(s) \longrightarrow __CH_3COONa(aq) + __H_2O(l) + __CO_2(g)$

Ayo kalian setarakan dahulu persamaan reaksi ini ya?

**Alat dan Bahan**

- balon
- neraca
- botol kaca
- soda kue
- cuka

**Langkah Kerja**

Percobaan ini untuk membuktikan hukum kekekalan massa. Bekerjalah secara berkelompok.

1. Timbang 25 gram soda kue, lalu masukkan ke dalam balon.
2. Timbang 50 gram cuka, lalu masukkan ke dalam botol kaca.
3. Timbang kembali botol kaca yang berisi cuka dan balon yang berisi soda kue sebelum direaksikan seperti Gambar 4.6 kiri. Catat hasil penimbangan sebagai massa sebelum reaksi.
4. Siapkan *timer* pada gawai kalian.
5. Pasanglah balon berisi soda kue pada mulut botol kaca yang berisi cuka. Biarkan reaksi berlangsung selama 30 menit. Amati perubahan yang terjadi pada balon!
6. Timbang kembali botol berisi cuka beserta balon yang berisi soda kue. Catat hasil penimbangan sebagai massa sesudah reaksi.
7. Simpulkan bagaimana perubahan massa balon dan botol beserta isinya sebelum dan sesudah bereaksi. Bagaimana kalian dapat membuktikan hukum kekekalan massa pada kasus ini?

**Hukum Kekekalan Massa (Lavoisier)**

Dalam ruang tertutup, massa zat-zat sebelum reaksi sama dengan massa zat-zat sesudah reaksi (massa zat bersifat kekal).

Untuk melihat visualisasi percobaan hukum kekekalan massa, kalian dapat mengakses tautan di samping.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/COM

## 2. Hukum Perbandingan Tetap (Hukum Proust)



**Gambar 4.6** Joseph Louis Proust (1754–1826)

Setelah mengingat kembali massa atom, mari kita pelajari hukum dasar kimia selanjutnya, yaitu hukum perbandingan tetap yang dikemukakan oleh Joseph Louis Proust pada tahun 1797.

Hukum ini lahir dari eksperimen terhadap air yang massa atom hidrogen dan oksigennya diubah-ubah. Jika 9 gram air terurai maka akan diperoleh 1 gram hidrogen dan 8 gram oksigen. Jika 18 gram air diuraikan maka akan dihasilkan 2 gram hidrogen dan 16 gram oksigen. Demikian juga jika 2 gram hidrogen dibakar dengan 8 gram oksigen maka diperoleh 9 gram air dan sisa hidrogen yang tidak bereaksi sebesar 1 gram. Hasil eksperimen Proust menyatakan bahwa walaupun massa hidrogen dan oksigen yang bereaksi diubah-ubah, namun perbandingan massa atom H terhadap atom O selalu 1 : 8.

Apakah kalian sudah memahami konsep perhitungannya? Mari berlatih sejenak. Karbon dioksida ($CO_2$) terdiri atas satu atom karbon (C) dan dua atom oksigen (O). Jika massa atom karbon adalah 12 dan massa oksigen 32, berapa perbandingan massa atom karbon terhadap oksigen? Ayo diskusikan bersama teman kalian. Lebih jauh lagi, ayo perhatikan contoh perhitungan berikut.

### Contoh 1

Sebanyak 2,8 gram kalsium oksida (CaO) dihasilkan dari pemanasan batu kapur yang mengandung 0,8 gram oksigen. Saat 1 gram oksigen (O) direaksikan dengan

kalsium (Ca) maka 3,5 gram kalsium oksida diperoleh. Buktikan bahwa keadaan ini memenuhi hukum perbandingan tetap!

Pembahasan:

| Percobaan | Massa CaO (g) | Massa O (g) | Massa Ca (g) | Perbandingan Massa Ca : O |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,8 | 0,8 | 2,8 – 0,8 = 2,0 | 2,0 : 0,8 = 2,5 |
| 2 | 3,5 | 1,0 | 3,5 – 1 = 2,5 | 2,5 : 1,0 = 2,5 |

Terbukti bahwa perbandingan massa unsur-unsur yang menyusun kalsium oksida, yaitu unsur kalsium dan oksigen, berbanding sebagai bilangan bulat dan sederhana, yaitu 2,5 : 2,5 = 1 : 1.

**Contoh 2**

Besi (III) oksida ($Fe_2O_3$) adalah salah satu oksida besi yang terbentuk dari logam besi (Fe) dengan gas oksigen ($O_2$) di udara. Jika massa besi (III) oksida sebesar 64 g maka berapa gram besi dan oksigen yang saling bereaksi?

Pembahasan:

Langkah awal adalah mencari perbandingan massa atom Fe terhadap atom O dari perbandingan massa atom relatif ($A_r$) atom-atom tersebut. Kalian dapat melihat pada tabel periodik unsur bahwa $A_r$ atom Fe adalah 56 dan $A_r$ atom O adalah 16. Dengan demikian, perbandingan massa Fe terhadap O dalam $Fe_2O_3$ adalah:

| Fe | O |
|---|---|
| 56 × 2 | 16 × 3 |
| 112 | 48 |
| 7 | 3 |

Perbandingan massa atom Fe terhadap O adalah 7 : 3, sehingga:

$$\text{massa Fe} = \frac{7}{10} \times 64 = 44{,}8 \text{ gram}$$

$$\text{massa O} = \frac{3}{10} \times 64 = 19{,}2 \text{ gram}$$

Jadi, massa besi dan oksigen yang saling bereaksi adalah 44,8 dan 19,2 gram.

**Hukum Perbandingan Tetap (Proust)**

Perbandingan massa dari unsur-unsur yang menyusun suatu senyawa itu selalu tetap.

Untuk melihat visualisasi percobaan hukum perbandingan tetap, kalian dapat mengakses tautan berikut.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/HP

Ayo kerjakan latihan berikut supaya kalian dapat menghitung lebih terampil dan bernalar kritis dengan baik.

## Ayo Berlatih

1. Tembaga II oksida (CuO) sebanyak 1,375 g dipanaskan dengan gas hidrogen ($H_2$). Setelah pemanasan selesai, ternyata massa Cu menjadi 1,098 g. Pada percobaan lainnya sebanyak 1,179 g Cu dilarutkan dalam asam nitrat ($HNO_3$) kemudian dibakar menghasilkan CuO. Massa CuO setelah pembakaran adalah 1,476 g. Buktikan melalui perhitungan bahwa hukum perbandingan tetap pada kasus ini dipenuhi!
2. Unsur natrium (Na) dan belerang (S) bereaksi dalam perbandingan 23 : 16 membentuk senyawa natrium sulfida ($Na_2S$). Jika 50 g Na bereaksi dengan 32 g S maka:
   a. Berapa gram senyawa $Na_2S$ yang terbentuk?
   b. Tentukan unsur mana yang berlebih!
   c. Berapa massa unsur yang berlebih itu?

   Uraikan jawaban kalian berdasarkan konsep hukum perbandingan tetap.

## 3. Hukum Perbandingan Berganda (Hukum Dalton)



**Gambar 4.7** John Dalton (1766-1844)

Hukum perbandingan tetap didukung oleh teori atom Dalton. Teori yang dikemukakan oleh John Dalton (1766-1844) ini menyatakan bahwa atom-atom sejenis membentuk suatu unsur kimia. Unsur tidak dapat diuraikan melalui reaksi kimia. Sementara senyawa kimia disusun dari unsur-unsur yang berbeda. Adapun unsur-unsur yang sama dapat menyusun lebih dari satu senyawa yang berbeda. Pada aspek kuantitatif, hukum perbandingan berganda merupakan pengembangan hukum perbandingan tetap. Oleh karena hukum ini dikemukakan oleh Dalton maka dikenal sebagai Hukum Dalton. Nah, bagaimana membuktikan hukum Dalton?

Unsur nitrogen dan oksigen dapat membentuk dua jenis senyawa. Senyawa pertama adalah gas tertawa dan senyawa kedua adalah gas polutan. Manakah di antara unsur-unsur tersebut yang memiliki perbandingan sama pada kedua senyawa itu? Berapa perbandingannya? Adakah unsur yang memiliki perbandingan berbeda? Bagaimana cara mengetahuinya? Simaklah contoh berikut.

**Contoh 1**

Hidrogen (H) dan oksigen (O) bergabung membentuk dua senyawa, yaitu air ($H_2O$) dan hidrogen peroksida ($H_2O_2$). Pada senyawa $H_2O$ maupun $H_2O_2$, massa H yang bereaksi masing-masing sebesar 2 gram. Pada senyawa $H_2O$ massa O yang bereaksi adalah 16 gram, sementara massa atom O pada senyawa $H_2O_2$ sebesar dua kali massa atom O pada $H_2O$. Bagaimana kalian membuktikan hukum Dalton pada kasus ini?

Pembahasan:

| Senyawa | Nama senyawa | Massa H (g) | Massa O (g) |
|---|---|---|---|
| 1 | $H_2O$ | 2 | 16 |
| 2 | $H_2O_2$ | 2 | 32 |

Senyawa 1: perbandingan massa H : massa O = 2 : 16
Senyawa 2: perbandingan massa H : massa O = 2 : 32

Dari kedua senyawa tersebut terlihat bahwa:

- Perbandingan massa atom H senyawa 1 terhadap massa atom H senyawa 2 adalah 2 : 2 = 1 : 1.
- Perbandingan massa atom O senyawa 1 terhadap massa atom O senyawa 2 adalah 16 : 32 = 1 : 2.

Ternyata, perbandingan massa atom O pada kedua senyawa adalah 1 : 2, merupakan bilangan bulat dan sederhana, sementara perbandingan massa atom H pada kedua senyawa adalah tetap, yaitu 1 : 1.

**Contoh 2**

Nitrogen membentuk beberapa senyawa dengan oksigen. Pada senyawa yang disebut gas tertawa diketahui bahwa 2,62 gram nitrogen bergabung dengan 1,50 gram oksigen. Sementara pada senyawa polutan, sebanyak 0,655 gram nitrogen bergabung dengan 1,50 gram oksigen. Tunjukkan bahwa data-data ini menunjukkan hukum perbandingan berganda!

Pembahasan:

| Senyawa | Nama senyawa | Massa N (g) | Massa O (g) |
|---|---|---|---|
| 1 | Gas tertawa | 2,62 | 1,5 |
| 2 | Polutan | 0,655 | 1,5 |

Senyawa 1: perbandingan massa N : massa O = 2,62 : 1,5
Senyawa 2: perbandingan massa N : massa O = 0,655 : 1,5

Dari kedua senyawa tersebut terlihat bahwa:

- Perbandingan massa atom O senyawa 1 terhadap massa atom O senyawa 2 adalah 1,5 : 1,5 = 1 : 1.
- Perbandingan massa atom N senyawa 1 terhadap massa atom N senyawa 2 adalah 2,62 : 0,655 = 1 : 4.

Ternyata, perbandingan massa atom N pada kedua senyawa adalah 1 : 4, merupakan bilangan bulat dan sederhana, sementara perbandingan massa atom O adalah tetap, yaitu 1 : 1. Jadi, terbukti bahwa, baik senyawa gas tertawa maupun senyawa polutan, memenuhi hukum perbandingan berganda.

**Hukum Perbandingan Berganda (Dalton)**

Jika dua unsur dapat membentuk lebih dari satu senyawa maka perbandingan massa dari unsur yang satu dalam senyawa-senyawa tersebut merupakan bilangan bulat sederhana, sementara perbandingan massa unsur lainnya tetap.

Ayo berlatih bernalar kritis dengan mengerjakan latihan berikut.



## Ayo Berlatih

1. Gas sulfur dioksida ($SO_2$) adalah salah satu gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Ada dua senyawa yang dapat disusun oleh unsur sulfur (S) dan oksigen (O). Senyawa pertama disusun oleh 50 g S dan senyawa kedua disusun oleh 40 g S. Buktikan melalui perhitungan bagaimana konsep hukum perbandingan berganda terpenuhi!
2. Fosfor (P) bereaksi dengan oksigen (O) membentuk senyawa A dan B. Pada senyawa A, massa fosfor sebesar 4,13 g bereaksi dengan 3,20 g oksigen. Pada senyawa B, sebanyak 4,48 g fosfor bereaksi dengan 5,80 g oksigen. Berapa perbandingan massa fosfor dalam bilangan bulat yang paling sederhana? Uraikan berdasarkan konsep hukum perbandingan berganda.

### 4. Hukum Perbandingan Volume (Hukum Gay Lussac)

Perkembangan hukum dasar kimia berikutnya dikemukakan oleh Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850) ahli kimia dari Perancis. Dalam eksperimennya, ia menemukan bahwa pada suhu ($T$) dan tekanan ($P$) yang sama maka 199,89 bagian volume gas hidrogen ($H_2$) dikonsumsi untuk setiap 100 bagian volume gas oksigen ($O_2$). Oleh karena itu, perbandingan volume gas $H_2$ terhadap gas $O_2$ saat membentuk uap air adalah 2 : 1 sesuai persamaan berikut.



**Gambar 4.8** Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850)

$$\underset{\text{2 bagian volume}}{2H_2(g)} + \underset{\text{2 bagian volume}}{O_2(g)} \longrightarrow 2H_2O(g)$$

Pada ulasan terdahulu, kalian telah mempelajari koefisien reaksi adalah jumlah zat yang dinyatakan dalam satuan mol. Oleh karena itu, pada persamaan reaksi pembentukan $H_2O$ tersebut dapat dikatakan bahwa 2 mol gas $H_2$ bereaksi dengan 1 mol gas $O_2$ menghasilkan 2 mol uap $H_2O$. Hal ini berlaku pula untuk rasio bilangan bulat yang serupa untuk reaksi antara pasangan gas lainnya.

**Contoh 1**

Reaksi gas hidrogen klorida (HCl) dengan gas amonia ($NH_3$) menghasilkan gas ammonium klorida ($NH_4Cl$) menurut persamaan reaksi:

$HCl(g) + NH_3(g) \longrightarrow NH_4Cl(g)$

Bagaimana penjelasannya?

Ingat bahwa koefisien reaksi adalah jumlah zat yang dinyatakan dalam satuan mol, maka 1 mol gas HCl bereaksi dengan 1 mol gas $NH_3$ menghasilkan 1 mol gas $NH_4Cl$.

Menurut Gay Lussac, volume gas-gas yang bereaksi dan hasil reaksi berbanding sebagai bilangan bulat dan sederhana jika diukur pada suhu dan tekanan yang sama. Dengan demikian, pada persamaan reaksi kimia tersebut, perbandingan volume gas HCl terhadap gas $NH_3$ dan gas $NH_4Cl$ adalah 1 : 1 : 1.

**Contoh 2**

Gas amonia ($NH_3$) mengalami penguraian saat dipanaskan menghasilkan gas hidrogen ($H_2$) dan nitrogen ($N_2$) menurut persamaan reaksi berikut.

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

Jika terdapat 600 ml gas $NH_3$, berapa volume gas $H_2$ dan $N_2$ yang dihasilkan?

Penjelasan:

Berdasarkan koefisien reaksi di atas maka perbandingan volume gas $NH_3$ terhadap gas $H_2$ dan $N_2$ adalah 2 : 3 : 1.

Jika terdapat 600 ml gas $NH_3$ maka:

volume gas $H_2$ yang dihasilkan adalah $\frac{3}{2} \times 600 \text{ ml} = 900 \text{ ml}$

volume gas $N_2$ yang dihasilkan adalah $\frac{1}{2} \times 600 \text{ ml} = 300 \text{ ml}$

Ayo berlatih bernalar kritis dengan mengerjakan latihan berikut.



## Ayo Berlatih

1. Zat pembersih kerak pada lantai porcelain mengandung asam klorida (HCl) sebesar 30%. Dalam bentuk senyawa murninya, gas HCl dibuat dari gas hidrogen ($H_2$) dan gas klorin ($Cl_2$) menurut persamaan reaksi:

   $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow HCl(g)$ *(belum setara)*

   a. Setarakan persamaan reaksi tersebut!
   b. Jika gas HCl yang dihasilkan sebesar 500 ml, hitung volume gas $H_2$ dan $Cl_2$ yang dibutuhkan!

2. Hidrogen peroksida ($H_2O_2$) adalah salah satu bahan yang mempunyai sifat antiseptik sehingga dapat digunakan untuk membersihkan luka luar. Sifat $H_2O_2$ adalah mudah terurai menjadi air ($H_2O$) dan gas oksigen ($O_2$) menurut persamaan reaksi:

   $H_2O_2(g) \longrightarrow H_2O(l) + O_2(g)$ *(belum setara)*

   a. Setarakan persamaan reaksi tersebut!
   b. Jika diperlukan 100 liter gas $H_2O_2$, berapa liter volume $H_2O$ dan gas $O_2$ yang dihasilkan?

### Hukum Perbandingan Volume (Gay Lussac)

1. Volume gas-gas yang bereaksi dan hasil reaksi berbanding sebagai bilangan-bilangan bulat dan sederhana apabila diukur pada suhu dan tekanan yang sama.
2. Hukum Gay Lussac hanya berlaku untuk gas saja dan tidak berlaku untuk zat cair maupun padat.

## C. Hukum Dasar Kimia untuk Menyelesaikan Kasus dalam Kehidupan Sehari-Hari

Berkat hukum dasar kimia yang dikemukakan oleh para ilmuwan terdahulu maka kita bisa menghitung kadar zat-zat dalam suatu reaksi kimia di sekitar kita.

Ayo lakukan Aktivitas 4.5 berikut untuk melatih dimensi bernalar kritis.

### Aktivitas 4.5 Ayo Identifikasi

**Kasus 1**

Pada bagian awal bab ini kalian telah membaca bahwa Indonesia memiliki potensi sumber daya mineral, yaitu deposit nikel laterit terbesar di dunia. Nikel laterit mengandung oksida logam, antara lain nikel oksida dan kobalt oksida. Dari berbagai daerah mana pun, mineral nikel oksida selalu terdapat dalam rumus molekul NiO dan kobalt oksida sebagai CoO, Mengapa demikian? Perbandingan massa Ni dan O maupun Co dan O dalam mineral laterit atau campuran logam lainnya selalu tetap. Bagaimana membuktikan hal ini?

Dari sumber Subagja, R., *et al* (2016) diketahui data kandungan NiO adalah 1,42% dan 1,56%, sementara kadar CoO sebesar 0,2% dan 0,3%. Sebanyak 1 ton batuan laterit dianalisis untuk mengetahui perbandingan atom nikel terhadap atom oksigennya dan atom kobalt terhadap atom oksigennya. Nah, coba kalian lengkapi Tabel 4.3 dan 4.4 berikut ini.

**Tabel 4.3** Perbandingan Nikel terhadap Oksigen dalam Batuan Laterit

| Percobaan | Massa Batuan Laterit (ton) | Kadar NiO (%) | Massa NiO (ton) | Massa Ni (ton) | Massa O (ton) | Perbandingan Ni : O |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1,42 | | 1,0 | | |
| 2 | 1 | 1,56 | | 1,1 | | |

**Tabel 4.4** Perbandingan Kobalt terhadap Oksigen dalam Batuan Laterit

| Percobaan | Massa Batuan Laterit (ton) | Kadar CoO (%) | Massa CoO (ton) | Massa Co (ton) | Massa O (ton) | Perbandingan Co : O |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0,2 | | 0,10 | | |
| 2 | 1 | 0,3 | | 0,15 | | |

Hukum dasar kimia manakah yang berlaku pada perbandingan atom-atom yang menyusun mineral laterit? Berikan penjelasannya!

**Kasus 2**

Lahan rawa memiliki tingkat keasaman tanah yang rendah sehingga tanaman sulit tumbuh di atasnya. Senyawa asam dicirikan dengan kandungan ion hidrogen ($H^+$). Oleh karena itu, keasaman tanah harus dinetralkan oleh senyawa yang bersifat basa, seperti kapur dolomit, $CaMg(CO_3)_2$. Reaksi yang terjadi bila ke dalam tanah yang bersifat asam ditambahkan kapur dolomit adalah:

$$4H^+(aq) + CaMg(CO_3)_2(s) \longrightarrow H_2O(l) + 2CO_2(g) + Ca^{2+}(aq) + Mg^{2+}(aq)$$

Jika massa ion hidrogen diabaikan dan kebutuhan dolomit per hektare tanah menurut Rosyid (2019) adalah 2 ton, maka berdasarkan hukum kekekalan massa, bagaimana kalian menjelaskan berapa massa produk hasil reaksi tersebut?



## Intisari

1. Hukum kekekalan massa menyatakan, "dalam ruang tertutup, massa zat-zat sebelum reaksi sama dengan massa zat-zat sesudah reaksi (massa zat bersifat kekal)".
2. Hukum perbandingan tetap menyatakan, "perbandingan massa dari unsur-unsur yang menyusun suatu senyawa selalu tetap".
3. Hukum perbandingan berganda menyatakan, "jika dua unsur dapat membentuk lebih dari satu senyawa maka perbandingan massa dari unsur yang satu dalam senyawa-senyawa tersebut merupakan bilangan bulat sederhana, sementara massa unsur lainnya dibuat tetap".
4. Hukum perbandingan volume menyatakan, "volume gas-gas yang bereaksi dan hasil reaksi berbanding sebagai bilangan-bilangan bulat dan sederhana apabila diukur pada suhu dan tekanan yang sama".

## Ayo Cek Pemahaman

1. Logam besi murni (Fe) dihasilkan dari pengolahan tambang bijih besi yang mengandung senyawa $Fe_2O_3$. Dalam proses pengolahannya, dibutuhkan zat reduktor, salah satunya adalah gas CO (karbon monoksida). Sebagian besar pabrik menghasilkan gas CO dari pengolahan gas alam. Apakah kita harus selalu bergantung pada gas alam, sementara cadangan batu bara Indonesia sangat melimpah? Oleh karena itu, teknologi pembuatan gas CO beralih ke proses gasifikasi yang ramah lingkungan karena bahan bakunya adalah batu bara dengan kandungan sulfur tinggi, tetapi tidak meninggalkan zat pencemar.

   Seorang ilmuwan melakukan eksperimen pada skala laboratorium. Ia mereaksikan sejumlah padatan karbon (C) yang dibakar dengan 40 gram gas oksigen ($O_2$) lalu menghasilkan 64 gram gas karbon monoksida (CO). Ternyata, pada akhir reaksi masih terdapat 14 gram padatan karbon (C).

   Jawablah pertanyaan berikut dengan menelaah tabel berikut terlebih dahulu.

| | C(*g*) | $O_2$(*g*) | CO(*g*) |
|---|---|---|---|
| Massa awal (g) | ... | 40 | ... |
| Massa yang bereaksi (g) | ... | ... | ... |
| Massa setelah reaksi (g) | 14 | 0 | 64 |

   a. Tulislah persamaan reaksi kimia setaranya!
   b. Uraikan hitungan kalian untuk mengisi kolom-kolom yang masih kosong!
   c. Hukum dasar kimia apakah yang berlaku untuk kasus ini? Jelaskan alasannya!

2. Manakah di antara pasangan senyawa berikut ini yang mengikuti hukum perbandingan berganda?
   a. $H_2O$ dan $SO_2$
   b. $CO_2$ dan $H_2O$
   c. $CO_2$ dan CO
   d. $SO_2$ dan CO
   e. $NO_2$ dan $NH_3$

3. Sebanyak 12 gram garam (NaCl) terurai menjadi unsur natrium (Na) dan klor (Cl). Unsur Na diperoleh sebanyak 47,33 gram dan Cl sebanyak 72,90 g. Berapakah perbandingan massa Na terhadap Cl? Hukum dasar kimia manakah yang memenuhi hal ini?

4. Sebanyak 50 ml gas hidrogen direaksikan dengan 20 ml gas oksigen menghasilkan uap air. Persamaan reaksi yang terjadi adalah:

   $H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(g)$ *(belum setara)*

   a. Setarakan terlebih dahulu persamaan reaksi kimianya!
   b. Gas apakah yang bersisa dan berapakah volumenya?
   c. Berapa volume uap air yang dihasilkan?
   d. Hukum dasar kimia manakah yang memenuhi pada kasus ini?



## Proyek Akhir Bab

**Proyek 1:**

Reaksi perkaratan (korosi) besi (Fe) oleh gas oksigen ($O_2$) dan air ($H_2O$)

$$__Fe(s) + __O_2(g) + xH_2O(l) \longrightarrow __Fe_2O_3.xH_2O(s)$$

Ayo setarakan persamaan reaksi kimia pembentukan karat tersebut!

Senyawa $Fe_2O_3.xH_2O$ berwarna merah kecokelatan. Senyawa ini menyebabkan perkaratan pada besi. Huruf *x* berarti jumlah air kristal yang terdapat pada senyawa karat. Bagian ini akan kalian pelajari di kelas XI.

Langkah kegiatan:

1. Masukkan sebatang paku yang sudah diampelas ke dalam stoples kaca kemudian ditambahkan sedikit air ke dalamnya. Kemudian tutup rapat.
2. Timbang stoples kaca beserta paku dan air pada hari ke-0, catatlah hasilnya.
3. Biarkan reaksi berlangsung selama beberapa hari. Ikuti petunjuk dari guru, kapan kalian bisa menimbang kembali paku dan air dalam stoples tersebut.

4. Timbang kembali paku yang sudah berkarat bersama air dan stoplesnya, catatlah hasilnya.
5. Amati apa yang terjadi pada paku setelah sekian lama disimpan. Bagaimana perubahan massa stoples berisi paku dan air sebelum dan setelah mengalami perkaratan? Kesimpulan apakah yang kalian peroleh? Bagaimana kalian dapat membuktikan hukum kekekalan massa pada kasus ini?

**Proyek 2:**

Reaksi air kapur ($Ca(OH)_2$) dan gas karbon dioksida ($CO_2$):

$$__Ca(OH)_2(aq) + __CO_2(g) \longrightarrow __CaCO_3(s) + __H_2O(g)$$

Ayo setarakan persamaan reaksi kimia pembentukan endapan kapur tersebut!

Senyawa kalsium karbonat ($CaCO_3$) adalah endapan kapur yang berwarna putih. Ikuti petunjuk guru kalian untuk membuat air kapur ($Ca(OH)_2$).

Langkah kegiatan:

1. Siapkan botol kosong kemudian isi dengan air kapur sebanyak setengah botol.
2. Timbang botol berisi air kapur tersebut.
3. Siapkan sebatang pipet sedotan lalu tiuplah air kapur dalam botol menggunakan pipet sedotan.
4. Amati apa yang terjadi pada air kapur lalu timbang kembali air kapur yang sudah ditiup tadi.
5. Catatlah semua hasil percobaan.
6. Simpulkan bagaimana perubahan massa dalam botol sebelum dan sesudah ditiup. Bagaimana kalian dapat membuktikan hukum kekekalan massa pada kasus ini?

## Pengayaan

Bagi kalian yang ingin mempelajari lebih jauh dan mendalami tentang penerapan hukum dasar kimia, ayo tinjau penerapannya dalam potensi air laut yang mengandung berbagai senyawa kimia.

### Hukum Dasar Kimia dalam Potensi Air Laut



**Gambar 4.9** Laut dan Potensinya
*Sumber: Vecstock/freepik.com (2023)*

Air laut menyimpan potensi yang menarik dari aspek kimianya. Apakah itu? Senyawa garam. Garam telah memainkan peran utama dalam sejarah. Produksi garam sudah dilakukan manusia pada sekitar 800 tahun SM. Bangsa Cina telah mengambil garam dari air laut sejak 6.000 tahun SM. Tubuh manusia rata-rata mengandung 56 gram garam. Garam bisa berkurang dari tubuh karena dikeluarkan lewat air seni, keringat, dan ekskresi lainnya. Garam adalah bagian dari konsumsi manusia sehari-hari.

Kekurangan garam dapat menyebabkan pusing, kram, kehilangan selera makan, bahkan kematian. Rasa asin adalah sensasi rasa yang paling mendasar. Bagaimana air laut menjadi asin? Mengapa ion klorida merupakan ion terbanyak dalam air laut? Interaksi $CO_2$ di atmosfer dan

air menghasilkan ion hidronium dan ion bikarbonat menurut persamaan reaksi kimia berikut.

$$CO_2(g) + H_2O(l) \longrightarrow H_2CO_3(aq)$$

$$H_2CO_3(aq) + H_2O(l) \longrightarrow H_3O^+(aq) + HCO_3^-(aq)$$

Ion hidronium ini ($H_3O^+$) bersifat asam sehingga air hujan umumnya juga bersifat asam. Air hujan asam ini perlahan-lahan melarutkan batuan gamping dan koral menghasilkan ion kalsium dan menambah ion-ion bikarbonat ($HCO_3^-$). Perhatikan persamaan reaksi kimia berikut.

$$CaCO_3(aq) + CO_2(g) + H_2O(l) \longrightarrow Ca^{2+}(aq) + 2HCO_3^-(aq)$$

Bagaimana ion natrium bisa berada dalam air laut? Persamaan reaksi kimia yang terjadi hampir sama dengan larutnya batuan gamping dan koral tersebut. Dalam hal ini, batuan mineral albit ($NaAlSi_3O_6$) terekstrak oleh air hujan asam kemudian ion-ion natriumnya terbawa ke sungai menuju laut. Sementara, jumlah rerata ion klorida dari batuan di kerak bumi hanya 0,01%. Jadi, hanya sebagian kecil dari ion klorida di lautan yang berasal dari pelapukan batuan dan mineral. Kalau begitu dari manakah ion klorida dalam air laut? Jawabannya adalah dari gunung berapi. Gas HCl adalah komponen utama gas dari gunung berapi.

Berdasarkan sejarah terbentuknya bumi, mula-mula bumi dalam kondisi panas dan gunung berapi tersebar di mana-mana. Gas HCl yang diemisikan dari gunung berapi bersifat sangat larut dalam air sehingga mudah berubah fase menjadi larutan HCl. Sementara, ion-ion Na dari batuan yang melapuk adalah sumber garam-garaman di laut. Seandainya kalian seorang oseanografer, bagaimana kalian menentukan kadar ion klorida dalam sampel air laut?

Ada banyak cara untuk menganalisis kandungan ion klorida dalam suatu larutan. Salah satu cara yang sudah sejak dulu dilakukan adalah metode Mohr. Larutan yang mengandung ion klorida dititrasi dengan larutan perak nitrat ($AgNO_3$) yang telah diketahui kadarnya. Persamaan reaksi kimia yang terlibat adalah:

$$Ag^{+}(aq) + Cl^{-}(aq) \longrightarrow \underset{\text{endapan putih}}{AgCl(s)}$$

AgCl adalah perak klorida berupa endapan putih hasil reaksi antara ion klorida dalam air laut dan larutan perak nitrat. Berdasarkan penjelasan ini maka kalian bisa membuktikan keberadaan garam dalam sampel air laut atau sampel larutan lainnya yang diduga mengandung garam NaCl. Berikut adalah rancangan hitungan sesuai dengan konsep hukum dasar kimia.

**Diketahui:**

1. Sampel air laut sebanyak 500 ml.
2. Massa jenis air laut pada suhu 20°C adalah 1,02 g/cm$^3$.
3. Kadar garam NaCl dalam air laut tersebut adalah 3,5%.
4. Setelah bereaksi dengan larutan perak nitrat ($AgNO_3$) diperoleh cairan yang mengandung endapan putih pada bagian bawah tabung sebanyak 69,70 gram.

**Pertanyaan:**

1. Berdasarkan konsep reaksi pembentukan endapan AgCl berwarna putih tersebut, berapa gram larutan $AgNO_3$ yang diperlukan untuk bereaksi dengan air laut? Diskusikan dalam kelompok lalu uraikan perhitungan kalian!
2. Tulislah persamaan reaksi kimia yang terlibat!
3. Karakteristik reaksi kimia manakah yang sesuai untuk kasus ini?
4. Lakukan perhitungan untuk mengisi data percobaan ini!
   - massa air laut = ..... gram
   - massa NaCl = ..... gram
   - massa $AgNO_3$ yang diperlukan = ..... gram
5. Hukum dasar kimia manakah yang terlibat dalam kasus ini? Jelaskan jawaban kalian!

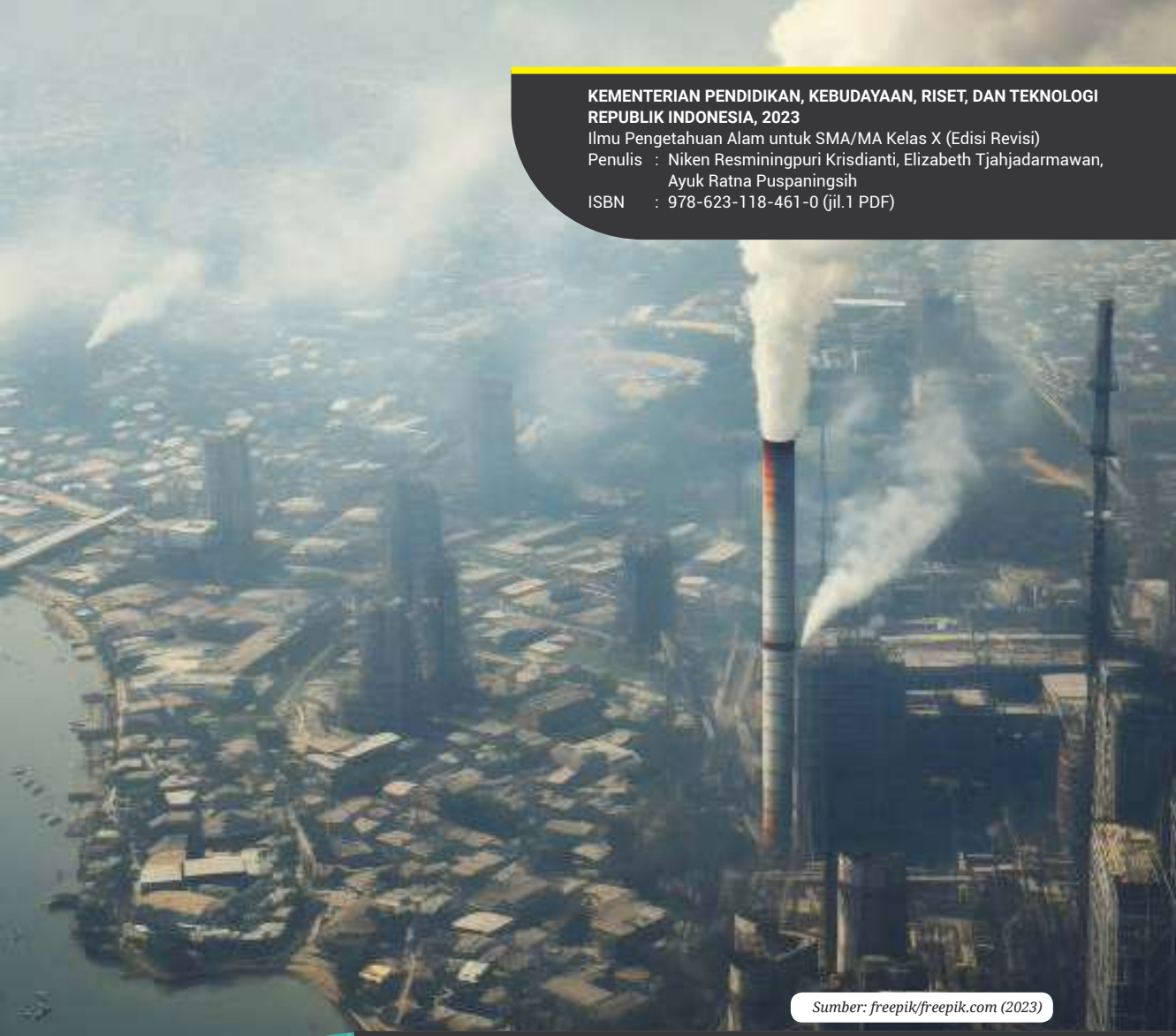
## Ayo Berefleksi

Setelah mempelajari bab ini, silakan kalian jawab pertanyaan berikut berdasarkan pengalaman belajar kalian.

1. Aktivitas apa yang paling kalian sukai?
2. Kendala apakah yang kalian jumpai? Bagaimana cara kalian mengatasi kendala tersebut?
3. Bagaimana perasaan kalian saat bekerja kelompok? Manfaat apa saja yang kalian rasakan saat bekerja kelompok?
4. Pengalaman baru apa saja yang kalian peroleh?
5. Hal apa saja yang akan kalian terapkan?

Di sinilah akhir dari petualangan kalian berlatih menjadi ahli kimia dengan mempelajari bab Hukum Dasar Kimia di Sekitar Kita. Sekarang, saatnya kalian melihat lagi pertanyaan-pertanyaan yang ada pada awal bab. Adakah pertanyaan yang belum terjawab?

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI REPUBLIK INDONESIA, 2023**
Ilmu Pengetahuan Alam untuk SMA/MA Kelas X (Edisi Revisi)
Penulis : Niken Resminingpuri Krisdianti, Elizabeth Tjahjadarmawan, Ayuk Ratna Puspaningsih
ISBN : 978-623-118-461-0 (jil.1 PDF)



*Sumber: freepik/freepik.com (2023)*

# Bab V

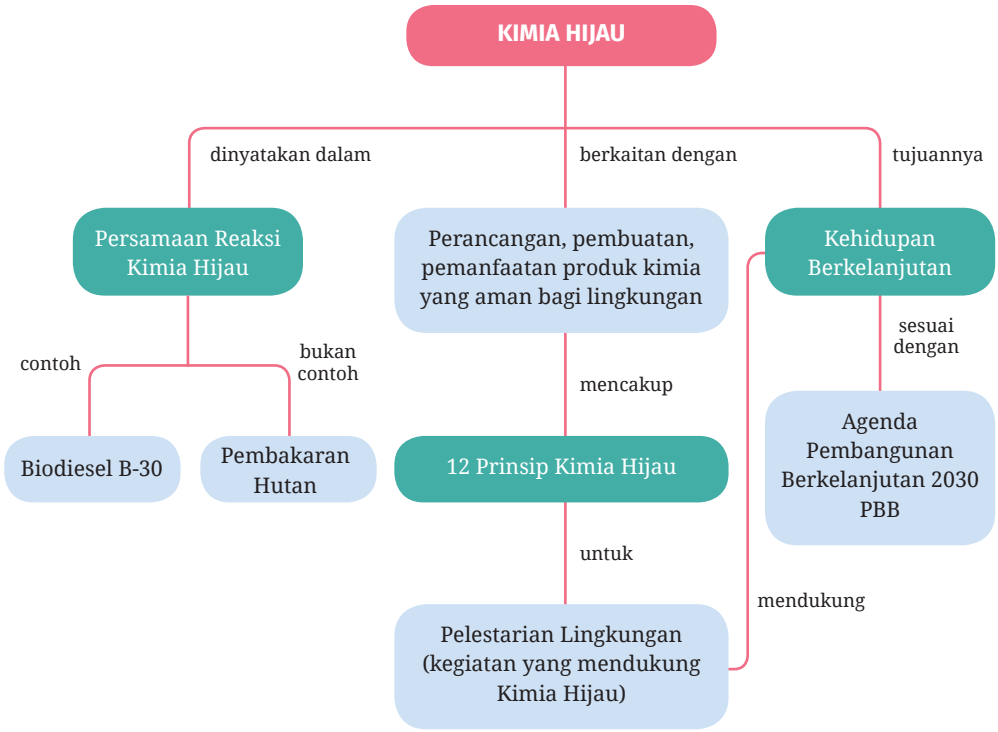
# Kimia Hijau dalam Pembangunan Berkelanjutan 2030

Bagaimana jika lingkungan di sekitar kita tercemar bahan kimia berbahaya?

## Tujuan Pembelajaran

Pada bab V ini kalian akan berlatih menjadi pahlawan hijau yang mempunyai misi menciptakan kegiatan yang melestarikan lingkungan berbasis pada prinsip kimia hijau atau *green chemistry*.

## Peta Konsep




## Kata Kunci

- proses kimia
- kimia hijau
- prinsip kimia hijau
- pelestarian lingkungan

Sebuah berita di kompas.com, 17 September 2023, dalam judul berita "*Kualitas Udara Jakarta Tak Sehat Pagi Ini, Terburuk Kedua di Dunia*", menulis bahwa Jakarta menduduki posisi kedua sebagai kota dengan kualitas udara terburuk di dunia pada Selasa 17 Oktober 2023. Mengapa demikian? Kualitas udara pada saat itu dikategorikan tidak sehat, yaitu 24,6 kali lebih besar dari standar kualitas udara tahunan WHO (*World Health Organization* atau Badan Kesehatan Dunia). Data dari situs pemantau udara IQAir, menunjukkan angka IQA (*index quality of air* atau indeks kualitas udara) Jakarta adalah 186. Angka ini menunjukkan kandungan PM (*particulate matter* atau partikel udara berukuran kecil) 2,5 dan konsentrasi polutan 123 mikrogram per meter kubik. Bagaimana menurut kalian? Apa yang menyebabkan kualitas udara memburuk?

Menurut berita tersebut zat pencemar utama berasal dari sektor industri manufaktur yang menggunakan batu bara sebagai sumber energinya. Emisi gas $SO_2$ dilepaskan dari pembakaran batu bara sebesar 2.631 ton per tahun atau sebesar 61,9%. Selain itu, gas $CO_2$ hasil pembakaran kendaraan bermotor turut menyumbang polutan yang mencemari udara.

Coba kalian bayangkan jika pencemaran udara seperti itu terjadi setiap hari. Bagaimanakah nasib bumi dan makhluk hidup yang ada di dalamnya? Bagaimana keadaan masyarakat dan lingkungan (air, tanah, udara, tanaman, dan hewan) yang ada di sekitar? Apa yang bisa kalian lakukan dari sekarang agar masa depan bumi tetap lestari?

Tahukah kalian bahwa badan dunia PBB mencanangkan salah satu program pembangunan berkelanjutan hingga tahun 2030, yaitu bagaimana lingkungan tetap aman dan lestari. Sebagai bagian dari masyarakat global, kalian bisa berkontribusi menjaga bumi agar tetap lestari dimulai dari rumah. Apa dan bagaimana caranya? Kondisi ini sangat berkaitan dengan konsep kimia hijau. Pada bab ini, kalian akan mengenal lebih jauh tentang kimia hijau.

## A. Pengertian dan Pentingnya Kimia Hijau

Halo Pelajar Pancasila, tahukah kalian bahwa aktivitas yang kita lakukan dan lingkungan di sekitar kita selalu terkait dengan proses kimia yang melibatkan reaksi kimia. Coba diskusikan dalam kelompok, adakah proses kimia di sekitar kalian? Kalian boleh mencarinya melalui berbagai sumber, lalu tuliskan pada buku catatan kalian.

Sebagian besar dari kalian akan berpikir bahwa proses kimia itu menghasilkan hal-hal yang berbahaya dan perlu dihindari, misalnya ledakan yang keras, gumpalan asap, nyala api, aroma yang menyengat, atau bahkan zat-zat yang beracun. Ayo kalian mengingat kembali tentang bahasan persamaan reaksi kimia yang sudah diulas pada bab IV. Persamaan reaksi kimia manakah yang bermanfaat bagi makhluk hidup dan lingkungan? Ayo cermati contoh-contoh berikut!

**Contoh 1**

Proses kimia: fotosintesis

Persamaan reaksi kimia:

$6CO_2(g) + 6H_2O(l) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g)$

Penjelasan:

1. Reaksi fotosintesis yang dibantu cahaya matahari memerlukan gas $CO_2$. Gas ini dikenal sebagai gas rumah kaca yang menyebabkan peningkatan suhu bumi. Gas $CO_2$ bereaksi dengan air ($H_2O$) pada proses fotosintesis. Dengan adanya fotosintesis akan mengurangi jumlah gas $CO_2$ sehingga turut mengurangi pemanasan global.
2. Produk dari reaksi fotosintesis adalah gula glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dan gas oksigen ($O_2$). Glukosa berguna sebagai sumber energi bagi tanaman untuk bertumbuh, sedangkan gas oksigen yang dihasilkan bermanfaat untuk kehidupan manusia dan hewan.

**Contoh 2**

Proses kimia:
pembuatan *renewable methanol* (metanol yang dapat didaur ulang)

Persamaan reaksi kimia:

$2CO_2(g) + 4H_2(g) \xrightarrow{\text{katalis Cu}} 2CH_3OH(l)$

Penjelasan:

1. Sejumlah kecil gas $CO_2$ dilepaskan dari area sumber energi panas bumi. (geotermal).
2. Gas $CO_2$ yang dilepaskan dari energi panas bumi direaksikan dengan gas $H_2$ dalam kondisi tekanan dan suhu tinggi dengan bantuan katalis padat tembaga (Cu).

3. Gas $H_2$ yang digunakan dalam reaksi tersebut dihasilkan dari proses penguraian $H_2O$ menggunakan energi listrik dari sumber energi panas bumi.
4. Produk yang dihasilkan dari reaksi kimia itu adalah metanol yang dapat didaur ulang.
5. Reaksi ini akan mengurangi emisi gas $CO_2$ yang terbuang ke udara sehingga udara menjadi lebih bersih. Kegunaan metanol antara lain sebagai campuran bahan bakar nonfosil untuk kendaraan bermotor, kapal laut, dan biodiesel.

**Fakta Sains**

## Green Methanol

Metanol merupakan salah satu jenis bahan bakar alkohol yang ramah lingkungan. Metanol dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil kendaraan dan mesin. Umumnya, metanol berbahan dasar minyak bumi, seperti gas alam atau batu bara. Namun, kimia hijau memanfaatkan emisi gas $CO_2$ yang dilepaskan dari lubang bor sumber panas bumi sebagai bahan baku pembuatan metanol. Sebuah pabrik di Islandia mampu memproduksi 1.300 ton metanol per tahun dari limbah karbon dioksida ($CO_2$) dari sumber energi geotermal. Teknologi ini dibuat sedemikian rupa sehingga pabrik dapat dibangun berdekatan dengan sumber emisi industri lainnya, antara lain industri semen dan baja.



**Gambar 5.1** Pengaturan lokalisasi industri harus menunjang kelestarian lingkungan

Selain gas $CO_2$, bahan baku metanol lainnya adalah gas hidrogen ($H_2$) yang dihasilkan dari reaksi elektrolisis air dari sumber energi geotermal. Hasilnya adalah *green methanol* yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.

*Sumber: The Essential Chemical Industry/essentialchemicalindustry.org (2018)*

**Contoh 3**

Proses kimia: elektrolisis air

Persamaan reaksi kimia:

$$2H_2O(l) \xrightarrow{\text{energi listrik}} 2H_2(g) + O_2(g)$$

Penjelasan reaksi kimia:

Suatu wadah berisi air dimasukkan dua buah batang karbon (bisa dari mata pensil), lalu kedua batang karbon dihubungkan ke kedua kutub baterai, maka air akan terurai menjadi gas oksigen ($O_2$) dan hidrogen ($H_2$).

Berdasarkan ketiga contoh tersebut, bagaimana pendapat kalian terhadap proses dan reaksi kimia hijau? Ternyata, proses kimia tidak selamanya menakutkan. Ada proses kimia yang baik, bermanfaat, dan aman bagi lingkungan. Proses kimia yang memberikan pengaruh positif terhadap lingkungan termasuk kategori reaksi hijau. Hal ini tentu akan menjaga bumi kita tetap lestari, demikian pula lingkungan akan tetap terjaga. Untuk lebih memahami kimia hijau, ayo kalian berpikir kritis dengan menjelajahi Aktivitas 5.1.



## Aktivitas 5.1 Ayo Menelaah

Berdiskusilah dalam kelompok untuk menelaah bacaan berikut, lalu jawablah pertanyaan yang disajikan. Ikuti petunjuk guru kalian untuk mengomunikasikan hasilnya di depan kelas.

*Green Chemistry* atau kimia hijau berhubungan dengan bagaimana mendesain produk kimia dan prosesnya untuk mengurangi atau menghindari penggunaan bahan-bahan kimia yang berbahaya bagi manusia, hewan, dan lingkungan. Bahaya di sini bisa berupa ledakan fisik, sifat mudah terbakar, toksikologi-mutagenik, karsinogenik, termasuk perubahan iklim global, penipisan lapisan ozon, pencemaran lingkungan, dan paparan kimia. Efek zat berbahaya terhadap lingkungan, air, udara, makanan, pertanian, perubahan iklim, dan banyak lagi, membuat kita semakin waspada untuk lebih fokus dan mempraktikkan konsep yang lebih hijau.

Dalam konsep kimia untuk pengembangan berkelanjutan, kita harus selalu memikirkan pilihan bahan maupun proses kimia yang lebih aman dan baik. Penggantian klorofluorokarbon dengan hidroklorofluorokarbon (HClFC) dan hidrofluorokarbon (HFC) yang lebih aman akan mencegah risiko besar terkait penipisan lapisan ozon bumi. Pengurangan penggunaan bahan bakar fosil dan pengembangan pestisida yang lebih ramah lingkungan menciptakan lingkungan yang sehat. Meskipun banyak pendekatan dilakukan dari banyak sisi, namun setiap individu perlu berpikir bahwa rumah, ruang tidur, dan dapur mereka sendiri haruslah lebih aman dan mengurangi bahaya paparan bahan kimia di sekitar kita. Hal-hal ini membuat kita menjadi lebih bertanggung jawab sebagai masyarakat global.

*Sumber: Dirgha Raj Joshi dan Nisha Adhikari/World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences (2019)*

**Pertanyaan:**

1. Kata kunci apa saja yang kalian temukan pada bacaan tersebut terkait kimia hijau?
2. Apa saja yang menjadi karakteristik kimia hijau?
3. Bagaimana pengertian kimia hijau?
4. Mengapa kimia hijau penting bagi makhluk hidup?

Fakta Sains

**Bapak Kimia Hijau**



**Gambar 5.2** Paul Anastas

Siapa pencetus istilah kimia hijau? Pada tahun 1998, Paul Anastas yang dijuluki Bapak Kimia Hijau bersama John Warner memperkenalkan istilah kimia hijau. Di bawah Lembaga EPA (Environmental Protection Agency) milik pemerintah Amerika Serikat, mereka mengeluarkan 12 prinsip kimia hijau yang bertujuan memberikan panduan bagi industri kimia agar proses kimia tidak mencemari lingkungan. Meskipun demikian, pentingnya pembangunan berkelanjutan di bidang kimia dan teknologi kimia telah dicetuskan sejak lama oleh Giacomo Luigi Ciamician (1857–1922) pendiri fotokimia dan pelopor energi surya.

*Sumber: Nebbia, G. dan Kauffman, G.B/Chem Educator (2007)*

## B. Prinsip Kimia Hijau dalam Mendukung Upaya Pelestarian Lingkungan

Kimia hijau bukan hanya terkait dengan penggunaan dan produksi bahan kimia yang aman. Prinsip kimia hijau juga berarti tentang cara bijak menggunakan bahan kimia di rumah kalian. Bahan kimia apa saja yang digunakan di rumah? Bagaimana cara kalian menggunakannya? Bagaimana agar penggunaan bahan kimia di rumah dapat memberikan kontribusi terhadap prinsip kimia hijau? Menggunakan bahan kimia secukupnya, membuang bahan kimia pada tempatnya, menyimpan bahan kimia dengan cara yang benar, menggunakan bahan alam yang lebih ramah lingkungan (Gambar 5.3), serta menggunakan kembali bahan plastik (Gambar 5.4) merupakan wujud kontribusi kalian terhadap prinsip kimia hijau.



Limbah kulit nanas



Limbah kulit pisang



Limbah kulit jeruk

**Gambar 5.3** Bioplastik Ramah Lingkungan dari Limbah Kulit Buah-buahan
**Sumber**: *Elizabeth Tjahjadarmawan/Kemendikbudristek (2023)*





**Gambar 5.4** Penggunaan Kembali Limbah Plastik Sebagai Pot Tanaman
**Sumber**: *Elizabeth Tjahjadarmawan/Kemendikbudristek (2023)*

Prinsip kimia hijau berkontribusi terhadap pelestarian lingkungan. Dalam aktivitas selanjutnya, kalian akan merancang, mengembangkan, dan mempraktikkan prinsip yang lebih hijau untuk pelestarian lingkungan. Lakukan Aktivitas 5.2 untuk mengenal prinsip kimia hijau. Prinsip kimia hijau bukan hanya mencakup proses kimia, melainkan terkait bagaimana mengurangi dan mencegah penggunaan bahan kimia berbahaya bagi lingkungan. Ayo kalian analisis lebih dahulu bagaimana prinsip kimia hijau dengan mencermati infografis yang disajikan pada Gambar 5.5.

# 12 Prinsip Kimia Hijau

Kimia hijau adalah pendekatan kimia yang bertujuan memaksimalkan efisiensi dan meminimalkan pengaruh bahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan melalui inplementasi 12 Prinsip Kimia Hijau.

**01 Mencegah limbah**



Mengutamakan pencegahan limbah ketimbang penanggulangan atau pembersihan limbah yang muncul setelah proses sintesis serta meminimalkan limbah pada setiap proses.

**02 Memaksimalkan nilai ekonomi suatu atom**



Mengurangi limbah pada level molekul dengan memaksimalkan jumlah atom dari semua pereaksi menjadi produk akhir. Atom ekonomi di sini untuk mengevaluasi efisiensi reaksi.

**03 Sintesis kimia yang bahayanya sedikit**



Mendesain reaksi kimia dan rute sintesis seaman mungkin. Mempertimbangkan semua bahan yang berbahaya selama reaksi berlangsung, termasuk limbah.

**04 Mendesain proses yang melibatkan bahan kimia yang aman**



Memprediksi dan mengevaluasi aspek meliputi sifat fisika, toksisitas, dan lingkungan.

**05 Menggunakan pelarut dan kondisi reaksi yang lebih aman**



Memilih pelarut yang paling aman dalam tiap proses serta meminimalkan jumlah pelarut agar tidak menghasilkan persentase limbah yang besar.

**06 Mendesain efisiensi energi**



Memilih jalan reaksi kimia yang paling kecil energinya. Menghindari pemanasan dan pendinginan juga tekanan dan kondisi vakum.

**07 Menggunakan bahan baku terbarukan**



Bahan baku terbarukan biasanya berasal dari produk pertanian atau hasil alam, sedangkan bahan baku tak terbarukan berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara.

**08 Mengurangi bahan turunan kimia**



Mengurangi bahan turunan kimia untuk mengurangi tahapan reaksi, tambahan bahan kimia, dan produksi limbah.

**09 Menggunakan katalis**



Penggunaan katalis berperan pada peningkatan selektivitas, mengurangi limbah, waktu reaksi, dan energi dalam suatu reaksi.

**10 Mendesain bahan kimia dan produk yang terdegradasi setelah digunakan**



Bahan kimia harus mudah terdegradasi dan tidak terakumulasi di lingkungan.

**11 Menganalisis secara langsung untuk mencegah polusi**



Metode analisis yang dilakukan secara *real time* untuk mencegah pembentukan bahan berbahaya.

**12 Mencegah potensi kecelakaan**



Memiliki bahan kimia yang digunakan dalam reaksi kimia dan mengembangkan prosedur untuk menghindari kecelakaan.

**Gambar 5.5** Dua Belas Prinsip Kimia Hijau

## Aktivitas 5.2 Ayo Cari Tahu

Secara berpasangan, cermatilah ke-12 prinsip kimia hijau pada Gambar 5.5. Cari informasi dari berbagai sumber terkait permasalahan yang selama ini menyimpang dari prinsip kimia hijau, lalu sarankan solusi untuk mengatasinya. Cantumkan juga sumber informasi yang kalian rujuk. Buatlah Tabel 5.1 seperti di bawah ini di buku catatan kalian, kemudian isi bagian tabel yang kosong. Ikuti petunjuk guru kalian untuk kegiatan diskusi kelas tentang hal ini.

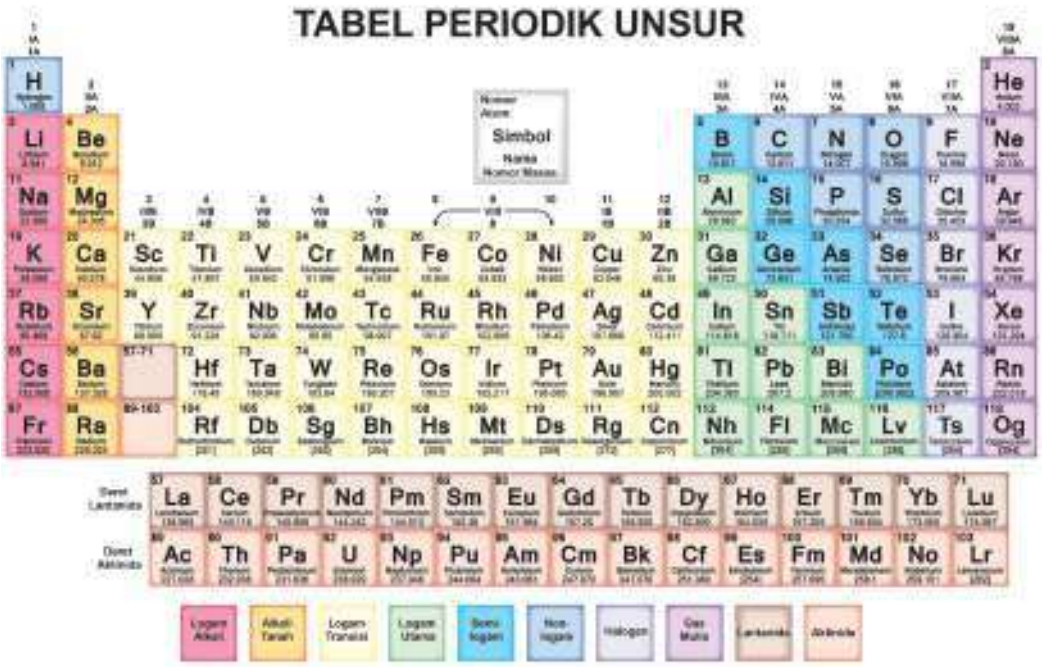
**Tabel 5.1** Permasalahan dan Solusi Berdasarkan Prinsip Kimia Hijau

| Permasalahan | Hal-hal yang Tidak Sesuai dengan Ke-12 Prinsip Kimia Hijau | Solusi | Sumber informasi |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

## C. Proses Kimia dalam Kehidupan Sehari-hari Terkait Hal-Hal yang Tidak Sesuai dengan Prinsip Kimia Hijau

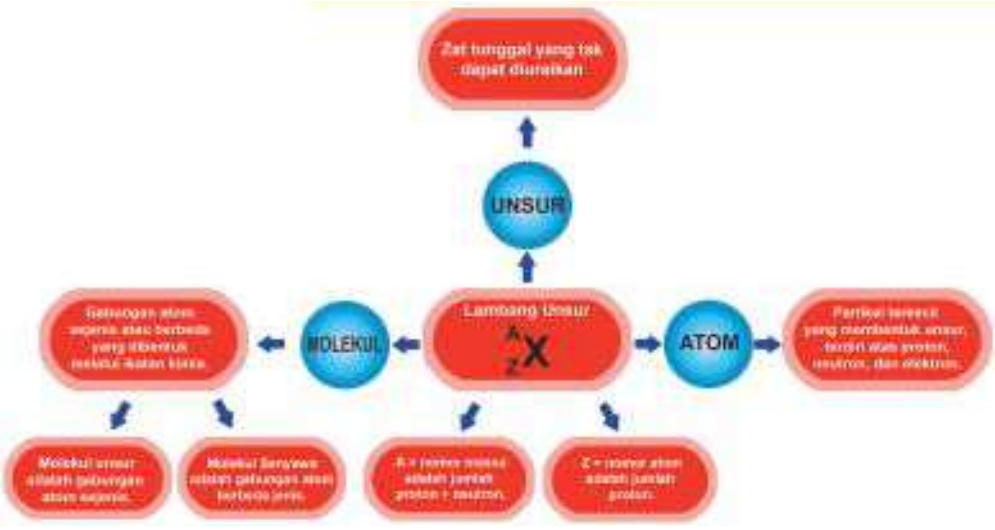
Dari Aktivitas 5.2 yang telah kalian kerjakan, dapat disimpulkan bahwa tujuan akhir dari prinsip kimia hijau adalah pelestarian lingkungan. Selanjutnya, bagaimana kita bisa mengetahui bahwa semua aktivitas yang kita lakukan sudah menunjukkan kontribusi terhadap penerapan prinsip kimia hijau? Tentu kita perlu mengidentifikasi senyawa dan reaksi kimia yang berkontribusi maupun yang bertentangan dengan prinsip kimia hijau. Sebelum kalian mengerjakan Aktivitas 5.3, ayo cermati beberapa hal berikut.

**Pertama**, amati tabel sistem periodik unsur pada Gambar 5.6. Tabel sistem periodik unsur terdiri atas berbagai unsur kimia yang disajikan dalam bentuk lambang kimia beserta nomor atom dan nomor massa, seperti yang sudah kalian pelajari.




**Gambar 5.6** Tabel Periodik Unsur

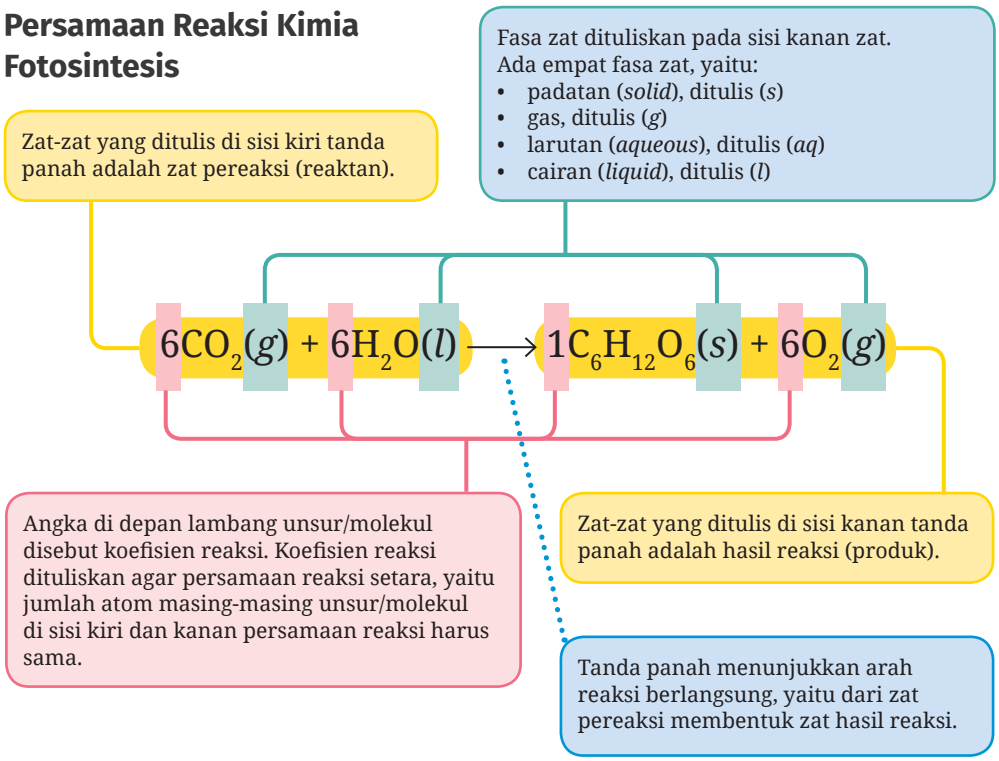
**Kedua**, pahami kembali pengertian unsur. Apa hubungannya dengan atom dan molekul? Untuk menjawabnya, terlebih dahulu lakukan analisis Gambar 5.7 berikut. Bagaimana pendapat kalian? Apa perbedaan atom, unsur, dan molekul?




**Gambar 5.7** Pengertian Atom, Unsur, dan Molekul

Dari Gambar 5.7 diketahui bahwa unsur merupakan zat tunggal yang tidak dapat diuraikan menjadi zat lainnya melalui reaksi kimia. Setiap unsur disusun dari gabungan atom sejenis. Sementara atom adalah unit terkecil dari suatu zat yang memiliki sifat kimia suatu unsur. Gabungan atom sejenis akan membentuk **molekul unsur,** misalnya gas oksigen ($O_2$), gas ozon ($O_3$), gas hidrogen ($H_2$), gas klorin ($Cl_2$), gas nitrogen ($N_2$), iodium ($I_2$), fosfor ($P_4$), dan sulfur ($S_8$). Adapun gabungan atom yang berbeda akan menghasilkan **molekul senyawa,** antara lain gas karbon dioksida ($CO_2$), air ($H_2O$), dan glukosa ($C_6H_{12}O_6$). Molekul unsur dan molekul senyawa yang bereaksi dapat kalian nyatakan dalam suatu persamaan reaksi kimia.

**Ketiga**, memahami bahwa reaksi kimia merupakan proses perubahan yang terjadi bila suatu unsur atau senyawa bereaksi dengan unsur atau senyawa lain menghasilkan unsur atau senyawa baru. Secara molekuler, proses kimia selalu disimbolkan dengan persamaan reaksi. Untuk lebih jelasnya, ayo kalian lihat bagan penulisan persamaan reaksi kimia pada Gambar 5.8.




**Gambar 5.8** Bagan Penulisan Persamaan Reaksi Kimia

Mari kita perhatikan lagi kesetaraan reaksi fotosintesis.

$$6CO_2(g) + 6H_2O(l) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g)$$

Apabila tanpa koefisien reaksi:

$$CO_2(g) + H_2O(l) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(s) + O_2(g)$$

maka jumlah atom masing-masing unsur sebelah kiri tidak sama dengan kanan. Di sebelah kiri jumlah atom C ada 1, atom O ada 3, dan atom H ada 2. Sedangkan di sebelah kanan atom C ada 6, atom O ada 8, dan atom H ada 12. Tidak sama, bukan?

Dengan menambahkan koefisien reaksi:

$$6CO_2(g) + 6H_2O(l) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g)$$

maka di sebelah kiri jumlah atom C ada 6, atom O ada 18, dan atom H ada 12. Adapun di sebelah kanan atom C ada 6, atom O ada 18, dan atom H ada 12. Sudah sama, bukan? Inilah yang disebut reaksi setara.

Ingatlah, rumus molekul atau unsur tidak boleh diubah, yang boleh diubah hanyalah koefisien reaksi. Bagaimana para kimiawan menentukan rumus molekul akan dibahas pada mata pelajaran kimia di kelas XI.

Ayo latih bernalar kritis dengan latihan dan Aktivitas 5.3 berikut.



## Ayo Berlatih

Diskusikan bersama teman kelompok kalian untuk menyetarakan persamaan reaksi kimia berikut!

1. $N_2(g) + H_2(g) \longrightarrow NH_3(g)$
2. $H_2SO_4(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow Na_2SO_4(aq) + H_2O(l)$
3. $NH_4NO_3(aq) \longrightarrow N_2(g) + O_2(g) + H_2O(g)$
4. $H_2O_2(l) \longrightarrow H_2O(l) + O_2(g)$
5. $C_2H_6(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(l)$
6. $CaCO_3(s) + HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$
7. $CH_3COOH(aq) + KOH(aq) \longrightarrow CH_3COOK(aq) + H_2O(l)$
8. $Al(OH)_3(aq) + HCl(aq) \longrightarrow AlCl_3(aq) + H_2O(l)$
9. $P_4(g) + Cl_2(g) \longrightarrow PCl_3(g)$
10. $Zn(s) + HCl(aq) \longrightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$

## Aktivitas 5.3 Ayo Identifikasi

Bekerjalah dalam kelompok untuk mencermati bagan berikut.

### Proses Kimia dalam Kehidupan Sehari-hari

| | |
|---|---|
| **Pembakaran plastik PET (polietilen tereftalat)**<br>$C_{10}H_8O_4(s) + 10O_2(g) \longrightarrow 10CO_2(g) + 4H_2O(l)$ | **Fotosintesis**<br>$6CO_2(g) + 6H_2O(g) \xrightarrow{\text{cahaya}} C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g)$ |
| **Reaksi pembakaran sempurna bahan bakar LPG**<br>$2C_4H_{10}(g) + 13O_2(g) \longrightarrow 8CO_2(g) + 10H_2O(l)$ | **Reaksi pembakaran tak sempurna**<br>$4CH_4(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 2CO(g) + 8H_2O(l) + 2C(g)$ |
| **Reaksi perkaratan logam**<br>$4Fe(s) + 3O_2(g) + xH_2O(g) \longrightarrow Fe_2O_3.xH_2O(s)$ | **Reaksi sabun atau deterjen dalam air**<br>$C_{17}H_{35}COONa(s) + H_2O(l) \longrightarrow C_{17}H_{35}COOH(aq) + NaOH(aq)$ |

Berdasarkan bagan di atas, identifikasilah proses kimia dalam kehidupan sehari-hari terkait hal-hal yang tidak sesuai dengan prinsip kimia hijau, kemudian beri solusi yang mendukung pada penerapan kimia hijau. Buatlah Tabel 5.2 seperti di bawah ini pada buku catatan kalian, kemudian isi bagian tabel yang kosong. Ikuti petunjuk guru kalian untuk diskusi kelas tentang hal ini.

**Tabel 5.2** Identifikasi proses kimia dalam kehidupan sehari-hari yang tidak mendukung prinsip kimia hijau.

| | |
|---|---|
| Kegiatan atau kejadian di dalam/ sekitar rumah | |
| Proses kimia | |
| Reaksi kimia setara (cari dari berbagai sumber informasi, ikuti petunjuk dari guru kalian) | |
| Hal yang tidak sesuai dengan prinsip kimia hijau. | |
| Tindakan sebagai solusi penerapan prinsip kimia hijau. | |

*) Buatlah beberapa contoh kegiatan atau kejadian di dalam atau sekitar rumah yang tidak mendukung prinsip kimia hijau.

## D. Menciptakan Kegiatan yang Mendukung Prinsip Kimia Hijau

Salah satu peran kimia hijau adalah mendukung 17 Agenda Pembangunan Berkelanjutan hingga 2030 (*Sustainable Development Goal 2030*) yang dicanangkan oleh PBB. Ke-17 agenda tersebut dapat kalian lihat pada Gambar 5.9.




**Gambar 5.9** Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030 PBB
*Sumber: Perserikatan Bangsa-Bangsa/indonesia.un.org (2023)*

Dari ke-17 agenda tersebut, prinsip kimia hijau terintegrasi dalam enam agenda pembangunan berkelanjutan, yaitu agenda nomor 3, 6, 7, 13, 14, dan 15. Hidup sehat dan sejahtera bagi semua manusia di bumi tentu karena lingkungan yang aman dan bebas bahan-bahan berbahaya.

Prinsip nomor 7 merupakan penerapan kimia hijau, salah satunya penggunaan sumber energi yang dapat diperbarui. Indonesia telah berupaya menerapkan prinsip ini, yaitu dengan cara mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil untuk menjaga kelestarian lingkungan. Dalam hal ini, pemerintah Republik Indonesia mengakselerasi penerapan biodiesel-30 (B30) yang dimulai pada penghujung tahun 2019. Kini, pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) resmi mengimplementasikan B30 di Indonesia. B30 sebagai bahan bakar nabati untuk mesin atau motor diesel merupakan kelanjutan dari biodiesel-20. Untuk memperdalam pemahaman kalian tentang penerapan prinsip kimia hijau dalam mendukung Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030 PBB, ayo lakukan Aktivitas 5.4 berikut.

## Aktivitas 5.4 Ayo Identifikasi

Bekerjalah dalam kelompok untuk mencari dan menganalisis informasi dari berbagai sumber tentang biodiesel-30, kemudian jawablah pertanyaan berikut!

1. Bagaimana biodiesel-30 dibuat?
2. Bagaimana perbandingannya dengan sumber energi nonbio?
3. Bagaimana biodiesel-30 mendukung prinsip kimia hijau?




**Gambar 5.10** Biodiesel-30 (B30)
*Sumber: Wahyu Putri N./Kemendikbudristek (2021)*

Untuk turut mendukung Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030 yang dicanangkan PBB, kalian juga dapat menciptakan kegiatan yang didasarkan pada prinsip kimia hijau, baik di rumah, sekolah, maupun lingkungan sekitar. Ayo lakukan Aktivitas 5.5 dengan cara mengamati lingkungan sekitar. Kegiatan ini melatih berpikir kreatif dalam menciptakan kegiatan yang mendukung Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030 PBB.

## Aktivitas 5.5 Ayo Identifikasi

Amati keadaan lingkungan sekitar yang kurang mendukung prinsip kimia hijau. Adakah yang mirip dengan deskripsi lingkungan pada Tabel 5.3? Salinlah tabel tersebut pada buku catatan, lalu isilah kolom yang kosong dengan kegiatan yang mendukung prinsip kimia hijau sebagai solusi terhadap permasalahan lingkungan tersebut.

**Tabel 5.3** Solusi Kegiatan yang Mendukung Prinsip Kimia Hijau

| No. | Gambar | Deskripsi | Solusi Kegiatan yang Mendukung Prinsip Kimia Hijau | Nomor Agenda PBB |
|---|---|---|---|---|
| 1. | <br>Sampah plastik di kantin sekolah<br>*Sumber: Elizabeth T/ Kemendikbudristek (2023)* | Di kantin sekolah banyak tumpukan sampah plastik. Penanganan sampah selama ini baru sebatas tumpukan sampah plastik dibakar atau dibuang ke tempat pembuangan sampah di depan sekolah. | | |
| 2. | <br>Sungai Batanghari Jambi<br>*Sumber: Elizabeth T/ Kemendikbudristek (2023)* | Di daerah tempat tinggal kalian terdapat sungai yang airnya kotor dan keruh. Masyarakat sekitar sungai sering membuang sampah ke area pinggir sungai. | | |
| 3. | <br>Ampas tebu<br>*Sumber: Elizabeth T/ Kemendikbudristek (2023)*<br><br>Ampas kulit jagung<br>*Sumber: Elizabeth T/ Kemendikbudristek (2023)* | Di depan sekolah kalian banyak penjual es tebu dan jagung bakar. Sampah kulit tebu dan jagung ditumpuk dan belum dimanfaatkan. | | |

| No. | Gambar | Deskripsi | Solusi Kegiatan yang Mendukung Prinsip Kimia Hijau | Nomor Agenda PBB |
|---|---|---|---|---|
| 4. |  Sampah dapur (kulit buah-buahan) *Sumber: Elizabeth T/ Kemendikbudristek (2023)* | Ibu sering mengupas buah-buahan. Kulitnya dibuang begitu saja. Sampah dapur menumpuk, belum dimanfaatkan, dan mengundang serangga. | | |

## Intisari

1. Kimia hijau adalah pendekatan kimia yang bertujuan memaksimalkan efisiensi dan meminimalkan pengaruh bahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Implementasi dari program ini dituangkan dalam 12 prinsip kimia hijau.
2. Peran kimia hijau adalah mendukung Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030 yang dicanangkan PBB. Agenda tersebut adalah nomor 3 (hidup sehat dan sejahtera), 6 (air bersih dan sanitasi), 7 (energi bersih dan terjangkau), 13 (penanganan iklim), 14 (menjaga ekosistem laut), dan 15 (menjaga ekosistem darat).

## Ayo Cek Pemahaman

**Soal 1:** Nyatakan benar atau salah pernyataan berikut beserta alasannya!

1. Tidak semua reaksi kimia menghasilkan zat-zat berbahaya. Ada reaksi kimia yang tidak berbahaya, tetapi bukan merupakan reaksi kimia hijau. Contohnya penggunaan soda kue dalam proses memanggang adonan roti. Gas karbon dioksida ($CO_2$) yang dihasilkan akan membuat roti menjadi empuk dan enak disantap.

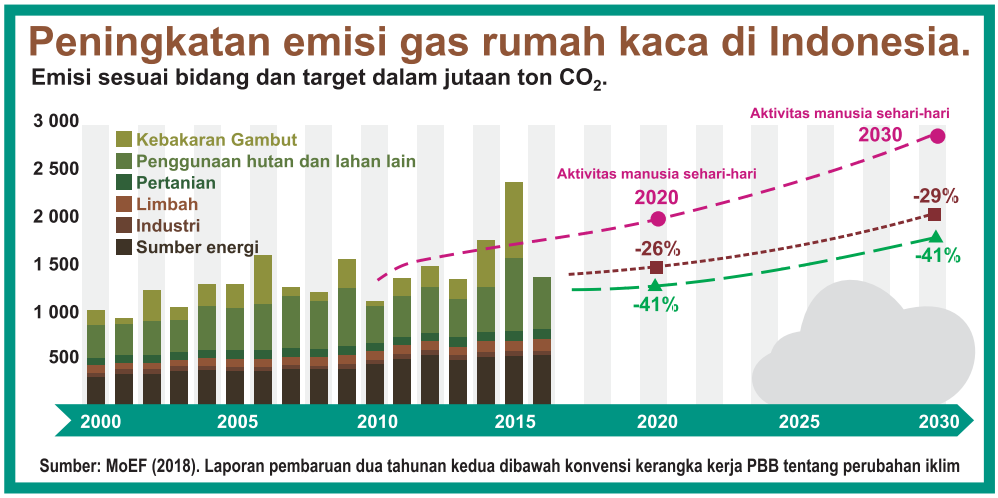
2. Reaksi kimia pembakaran tak sempurna, misalnya membakar sampah di tempat terbuka, tidak akan mencemari lingkungan, karena menghasilkan gas karbon monoksida (CO) yang aman bagi makhluk hidup. Reaksi ini sesuai dengan konsep kimia hijau.

3. Biodiesel-30 atau B30 adalah salah satu upaya pemerintah untuk menerapkan prinsip kimia hijau, yaitu menggunakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

4. Reaksi pembusukan sampah dapur yang tidak diolah akan melepaskan gas metana ($CH_4$), gas asam sulfida ($H_2S$), dan gas amonia ($NH_3$) ke udara. Gas-gas ini merupakan gas rumah kaca. Pembusukan sampah dapur merupakan penerapan prinsip kimia hijau.

**Soal 2**

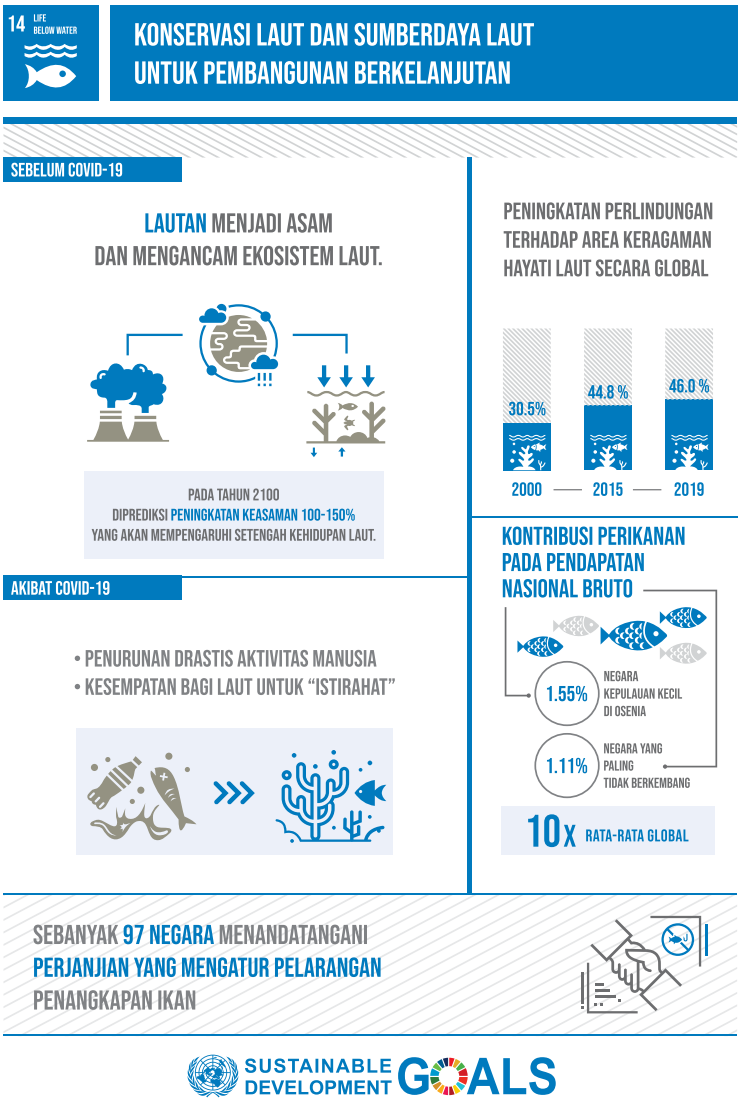
Analisis grafik pada Gambar 5.11. Prinsip kimia hijau manakah yang harus dipenuhi untuk mencegah peningkatan gas rumah kaca di Indonesia dari tahun ke tahun? Sarankan upaya apa saja yang harus dilakukan oleh keenam sektor yang tertera pada gambar tersebut.




**Gambar 5.11** Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia dari Tahun ke Tahun
*Sumber: MoEF/oecd.org (2018)*

**Soal 3**

Sebagai negara maritim, Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030 nomor 14 (menjaga ekosistem laut) tentu menjadi salah satu fokus utama Indonesia. Analisislah infografis pada Gambar 5.12 yang memuat hal-hal terkait konservasi laut dalam mendukung Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030.




**Gambar 5.12** Penerapan Prinsip Kimia Hijau pada Ekosistem Laut

*Sumber: dimodifikasi dari United Nations/un.org (2020)*

1. Hal-hal manakah yang paling berkaitan dengan prinsip-prinsip kimia hijau?
2. Apa akibatnya bila hal-hal yang tidak sesuai dengan prinsip kimia hijau tersebut dibiarkan terus terjadi?
3. Jelaskan akibatnya terhadap perekonomian, kelestarian lingkungan, dan sosial!
4. Apa yang dapat kalian sarankan dan lakukan untuk menjaga pelestarian ekosistem pantai dan laut?



## Proyek Akhir Bab

### Membuat Gerakan Hijau

Bayangkan kalian saat ini tinggal di lingkungan yang masyarakatnya belum memahami prinsip kimia hijau. Keadaan lingkungan tempat tinggal warga kotor dan gersang. Sampah dapur dan plastik menumpuk di depan setiap rumah. Sesekali sampah-sampah itu hanya dibakar sehingga asapnya mengganggu pernapasan. Cara yang dapat kalian lakukan agar mereka mau menjaga lingkungan bersih dan lestari adalah membuat Gerakan Hijau berdasarkan prinsip kimia hijau.

Cobalah kalian rancang aktivitas yang mengajak masyarakat terdekat untuk memilah sampah plastik dan sampah organik di rumah masing-masing. Sampah organik diolah menjadi pupuk kompos atau pupuk organik cair (POC), sedangkan sampah plastik diolah menjadi *ecobrick*. Pekarangan rumah yang gersang ditanami tanaman sayuran. Buatlah infografis terlebih dahulu tentang pentingnya melestarikan lingkungan dan contoh cara memilah dan mengolah sampah. Unggah infografis ini ke akun media sosial kalian agar dapat diakses masyarakat luas, atau dicetak dalam bentuk selebaran. Kemudian sosialisasikan program Gerakan Hijau tersebut dengan fasilitasi dari aparat pemerintah setempat.

## Pengayaan

Beberapa industri bekerja sama untuk memanfaatkan energi hijau yang hemat dan bersih sehingga tidak (a)_____ lingkungan. Sebuah kebun tomat di Inggris berada berdampingan dengan pabrik penghasil gas amonia ($NH_3$). Industri amonia ini menghasilkan limbah panas dan karbon dioksida ($CO_2$). Limbah panas yang dihasilkan digunakan untuk (b)_____ rumah kaca sehingga masa tanam bisa lebih panjang tanpa dipengaruhi musim salju. Gas $CO_2$ dimanfaatkan untuk kebutuhan (c)_____ tanaman tomat. Nilai tambah lainnya ditinjau dari aspek ekonomis adalah dapat menghemat (d)_____ untuk memanaskan rumah kaca, di samping (e)_____ berkurang karena kebutuhan tomat dalam negeri sudah terpenuhi. Rasa tomat yang dikonsumsi juga lebih (f) _____ karena waktu yang pendek antara pemanenan dan penjualan. Hal ini merupakan penerapan prinsip (g)_____, yaitu mencegah (h)_____, menggunakan energi (i)_____, dan memaksimalkan (j)_____ ekonomi.



**Gambar 5.13** Kebun Tomat di Area Pabrik Amonia

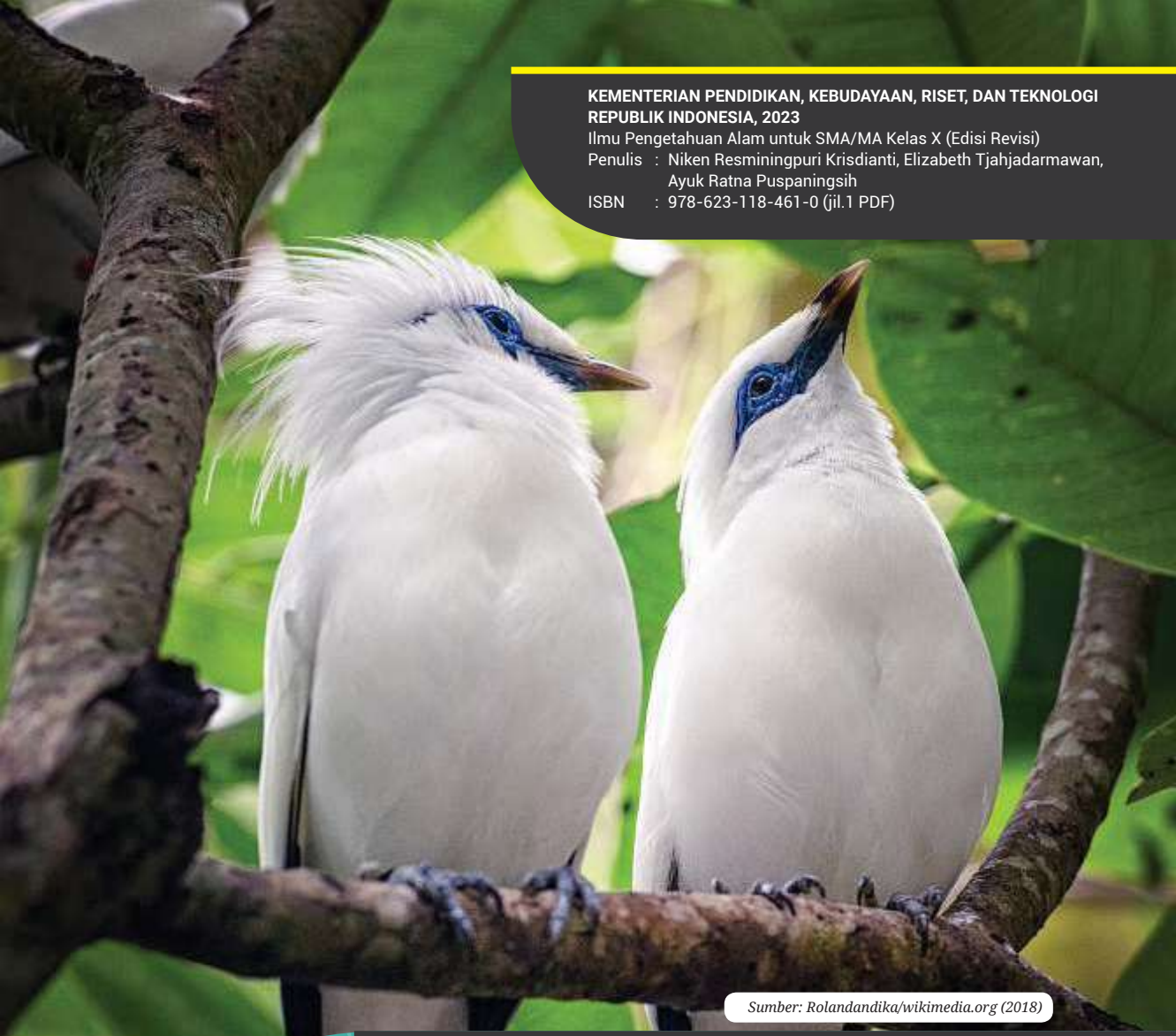
## Ayo Berefleksi

Setelah mempelajari bab ini, ayo kalian lakukan refleksi dengan menjawab pertanyaan berikut.

1. Manfaat apa saja yang kalian rasakan terhadap pemahaman prinsip kimia hijau?
2. Apakah kalian sudah menerapkan kegiatan yang mendukung prinsip kimia hijau, baik di lingkungan rumah, sekolah, maupun lingkungan sekitar?
3. Apakah kalian sudah mengajak orang lain di lingkungan rumah, sekolah, atau lingkungan terdekat sehingga mereka dapat menerapkan prinsip kimia hijau dalam kehidupan sehari-hari?

Di sinilah akhir dari petualangan kita mempelajari bab Kimia Hijau dalam Pembangunan Berkelanjutan 2030. Sekarang, saatnya kalian melihat lagi pertanyaan-pertanyaan yang ada pada awal bab, adakah pertanyaan yang belum terjawab?

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI**
**REPUBLIK INDONESIA, 2023**
Ilmu Pengetahuan Alam untuk SMA/MA Kelas X (Edisi Revisi)
Penulis : Niken Resminingpuri Krisdianti, Elizabeth Tjahjadarmawan, Ayuk Ratna Puspaningsih
ISBN : 978-623-118-461-0 (jil.1 PDF)



*Sumber: Rolandandika/wikimedia.org (2018)*

# Bab VI

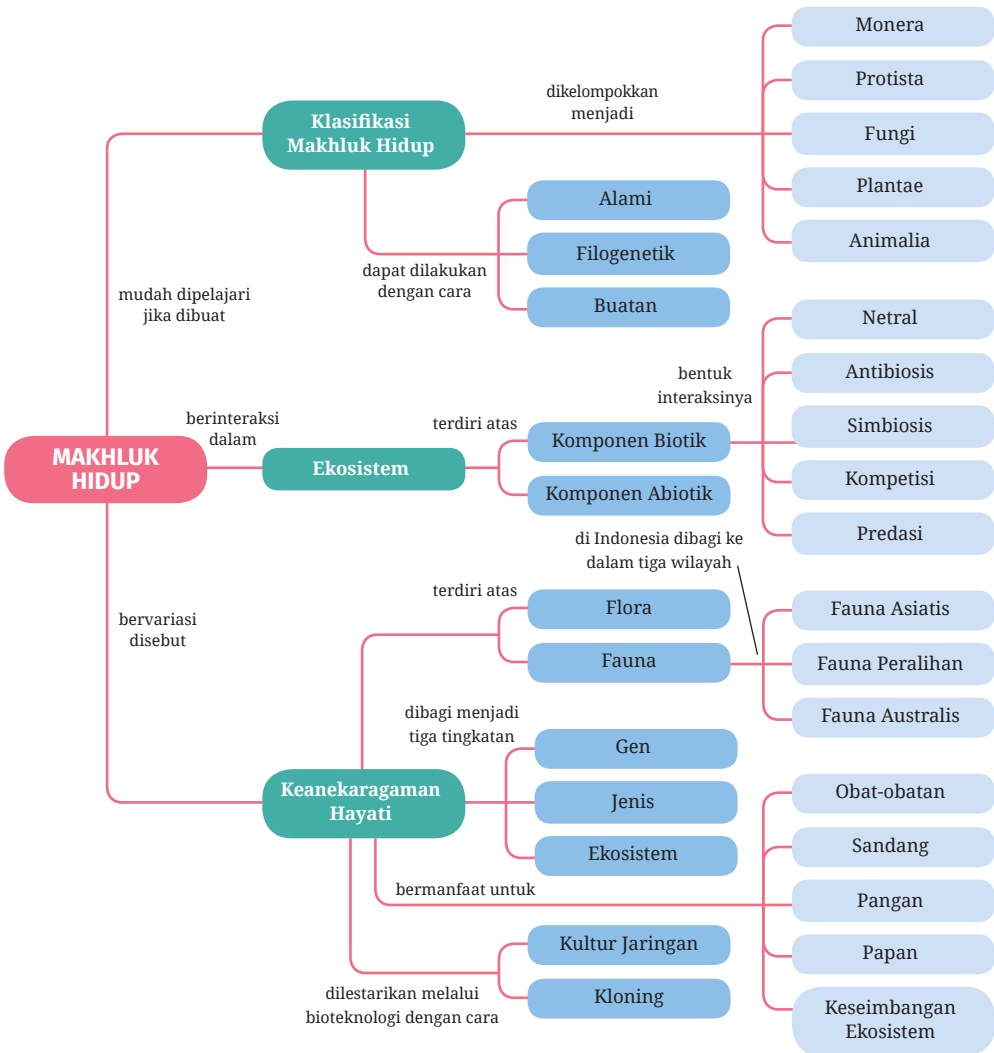
# Keanekaragaman Makhluk Hidup, Interaksi, dan Peranannya di Alam

Bagaimana jika makhluk hidup di dunia ini seragam?

## Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini kalian akan diajak untuk memahami keanekaragaman hayati, manfaat dan pelestariannya, serta mengidentifikasi dan mengelompokkan makhluk hidup. Kalian juga diajak untuk memahami peranan bakteri dan fungi dalam kehidupan sehari-hari, interaksi makhluk hidup dalam ekosistem, dan peranan bioteknologi dalam kehidupan terkait dengan pelestarian makhluk hidup.

## Peta Konsep



**Kata Kunci**

- keanekaragaman hayati
- klasifikasi makhluk hidup
- ekosistem
- bioteknologi modern

Burung jalak bali yang kalian lihat di awal bab merupakan hewan endemik yang hanya ada di Pulau Bali bagian barat, tepatnya di Taman Nasional Bali Barat. Hewan endemik adalah spesies hewan alami yang hanya ditemukan di satu tempat dan tidak ditemukan di tempat lain. Burung ini memiliki bulu berwarna putih bersih di seluruh tubuhnya dan bulu hitam pada bagian sayap dan ekornya, serta pelupuk matanya berwarna biru tua yang mengelilingi bola matanya. Burung ini hidup dengan memakan cacing, serangga, dan buah-buahan seperti juwet dan jambu, sehingga secara alami burung ini berperan sebagai pengontrol hama, pemencar biji, dan sebagai *pollinator*.

Selain itu, secara ekonomi, burung ini menjadi salah satu daya tarik wisatawan untuk berkunjung ke Bali. Sayangnya, populasi jalak bali mengalami penurunan jumlah. Pada tahun 1984, tercatat sebanyak 125–180 ekor dan pada tahun 1990 tercatat 12–18 ekor. Banyak faktor alami dan nonalami yang menyebabkan penurunan populasi burung ini, termasuk akibat aktivitas manusia. Itulah sebabnya burung ini menjadi burung yang dilindungi sejak tahun 1970 dan tidak diizinkan untuk dipelihara d iluar habitat aslinya karena termasuk katagori hewan yang terancam punah. Sangat disayangkan jika kekayaan hayati Indonesia ini harus punah, bukan? Pelestarian burung jalak bali harus dilakukan dengan mengurangi aktivitas manusia seperti perburuan dan penangkaran untuk memperbanyak jumlah burung jalak bali.

Pada Bab VI ini kalian akan mempelajari keanekaragaman makhluk hidup, manfaat keanekaragaman hayati dan perlunya melestarikan, pengelompokan makhluk hidup, dan peranan makhluk hidup dalam ekosistem. Selama belajar bab ini, kalian akan mengerjakan proyek setahap demi setahap yang berkaitan dengan penyelidikan keanekaragaman hayati yang ada di sekitarmu.

## A. Keanekaragaman Hayati

Cobalah kalian perhatikan tanaman di sekolahmu atau sekitar rumah. Amati bentuk daun, bentuk dan warna bunga, serta bentuk batangnya. Apakah semua tanaman yang kalian lihat memiliki ciri-ciri yang sama? Mengapa ada keanekaragaman pada tumbuhan?

Sebelum belajar lebih lanjut, ayo lakukan Aktivitas 6.1.



**Aktivitas 6.1 Ayo Mengamati**

Cobalah kamu pergi ke pasar terdekat atau supermarket. Amati dan catat sayur, buah-buahan, atau ikan yang dijual di pasar tersebut, kemudian jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Ada berapa macam sayuran, buah-buahan, atau ikan yang kalian temukan di pasar?
2. Adakah sayuran, buah-buahan, atau ikan yang kalian kenal tetapi tidak kalian temukan di pasar? Sebutkan!
3. Apakah kamu menemukan sayuran, buah-buahan, atau ikan yang jenisnya sama? Sebutkan!
4. Apakah perbedaan yang ditunjukkan oleh sayuran, buah-buahan, atau ikan yang sejenis itu? Berdasarkan perbedaan itu, apa yang dapat kalian simpulkan?
5. Berapa jeniskah sayuran, buah-buahan, atau ikan yang kalian temukan?
6. Apakah perbedaan yang ditunjukkan oleh berbagai jenis sayuran, buah-buahan, atau ikan tersebut? Apa yang dapat kalian simpulkan?

Keanekaragaman hayati artinya keberagaman pada makhluk hidup. Keberagaman dapat ditemukan pada tingkatan gen, spesies, dan ekosistem. Keanekaragaman pada makhluk hidup ini terjadi akibat adanya faktor genetik atau keturunan dan perbedaan faktor lingkungan.

## 1. Tingkatan Keanekaragaman Hayati

### a. Keanekaragaman hayati tingkat gen

Saat kalian melakukan Aktivitas 6.1, adakah yang menjumpai beragam varietas pisang, misalnya pisang susu dan pisang tanduk. Meskipun sama-sama pisang, tetapi bentuk, ukuran, dan rasa pisang-pisang itu beraneka ragam. Inilah yang disebut dengan keanekaragaman hayati tingkat gen. Keanekaragaman hayati tingkat gen adalah keanekaragaman yang ada dalam satu spesies.



Pisang Raja Sereh (*Musa* sp)



Pisang Tanduk (*Musa* sp)



Pisang Raja (*Musa* sp)

**Gambar 6.1** Contoh keanekaragaman hayati tingkat gen pada buah pisang.
*Sumber: Puspaningsih/Kemendikbudristek (2021); Visi M/wikimedia.org (2023); Judgefloro/wikimedia.org (2016)*

### b. Keanekaragaman hayati tingkat jenis

Sebelumnya kalian telah mengetahui bahwa buah pisang dalam satu spesies dapat beraneka ragam karena adanya variasi gen. Coba kalian perhatikan pisang ambon, pisang raja, dan pisang tanduk. Meskipun ketiganya merupakan tanaman pisang, akan tetapi mereka berasal dari spesies yang berbeda. Masing-masing spesies pisang tersebut memiliki perbedaan bentuk, ukuran, dan rasa buah. Hal ini membuktikan bahwa buah pisang pun sesungguhnya memiliki keanekaragaman tingkat jenis. Keanekaragaman hayati tingkat jenis adalah keanekaragaman hayati yang terjadi antarspesies.



Pisang Klutuk (*Musa balbisiana Colla*)



Pisang Mas (*Musa acuminata Colla*)



Pisang Raja (*Musa* sp)

**Gambar 6.2** Contoh keanekaragaman hayati tingkat jenis pada buah pisang.
*Sumber: Forest and Kim Starr/wikimedia.org (2014); Puspaningsih/Kemendikbudristek (2021); Judgefloro/wikimedia.org (2016)*

### c. Keanekaragaman hayati tingkat ekosistem

Indonesia dengan bentang alamnya yang luas memiliki beberapa ekosistem, seperti hutan hujan tropis, hutan bakau, dan sabana. Hutan hujan tropis dihuni oleh tumbuhan yang beraneka ragam, dari yang berukuran kecil hingga pohon

besar. Selain itu, di hutan hujan tropis juga hidup beraneka ragam hewan. Hutan bakau terletak di rawa atau pinggir pantai dan hanya ditumbuhi oleh tanaman mangrove. Hewan yang hidup di hutan mangrove antara lain beraneka jenis ikan dan burung laut. Sedangkan sabana adalah wilayah yang didominasi oleh tanaman jenis rumput. Hewan yang hidup di sabana cenderung mamalia kecil dan burung.

Ketiga ekosistem tersebut memiliki perbedaan yang dapat dilihat dari jenis tanaman, hewan, keadaan tanah, intensitas cahaya matahari, dan curah hujan. Perbedaan yang terjadi pada ketiga daerah ini disebut dengan keanekaragaman hayati tingkat ekosistem. Keanekaragaman hayati tingkat ekosistem adalah keanekaragaman hayati yang terjadi antarekosistem.



Ekosistem Hujan Tropis



Ekosistem Sabana



Ekosistem Bakau

**Gambar 6.3** Contoh keanekaragaman hayati tingkat ekosistem.
*Sumber: Vyacheslav Argenberg/wikimedia.org (2009); Puspaningsih/Kemendikbudristek (2021)*

## 2. Keanekaragaman Hayati di Indonesia

Tahukah kalian bahwa Indonesia termasuk negara yang memiliki keanekaragaman hayati tertinggi kedua setelah Brazil. Indonesia secara astronomis terletak pada $6^{o}$ LU sampai $11^{o}$ LS dan $95^{o}$ BT sampai $141^{o}$ BT sehingga Indonesia memiliki iklim tropis. Wilayah Indonesia memiliki curah hujan yang tinggi dan cahaya matahari sepanjang tahun. Keadaan inilah yang mendukung untuk hidupnya berbagai organisme sehingga Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi.

Keanekaragaman fauna di Indonesia sangat tinggi. Fauna Indonesia dibagi ke dalam tiga wilayah, yaitu wilayah barat (Sumatra, Kalimantan, Jawa, dan pulau-pulau kecil di sekitarnya), wilayah tengah (Sulawesi dan Nusa Tenggara), dan wilayah timur (Papua dan pulau-pulau di sekitarnya). Hewan di wilayah barat memiliki ciri-ciri yang sama dengan hewan yang ada di benua Asia, sehingga

disebut dengan hewan asiatis. Hewan asiatis biasanya berupa mamalia berukuran besar seperti gajah, badak, dan orang utan, serta sedikit burung berbulu indah. Hewan di wilayah timur memiliki ciri-ciri seperti hewan di benua Australia sehingga disebut dengan hewan australis. Hewan australis biasanya berupa hewan mamalia berukuran kecil seperti kuskus, hewan berkantung seperti walabi, dan burung berbulu indah seperti cendrawasih. Berbeda halnya dengan hewan di wilayah tengah, hewan ini memiliki ciri-ciri peralihan antara hewan asiatis dengan hewan australis, contohnya komodo, anoa, dan maleo.

## Hewan Tipe Asiatis



**Badak Jawa**
*Sumber: T. Dixon/wikimedia.org (1884)*

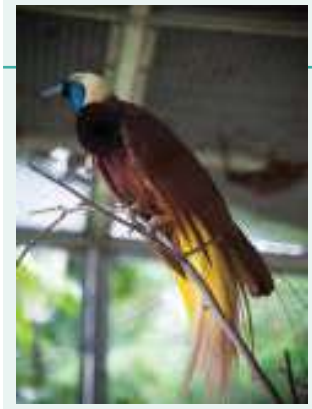
Badak jawa (*Rhinoceros sondaicus*) atau yang dikenal dengan badak bercula satu adalah salah satu badak jenis langka yang ada di dunia yang hidup di Taman Nasional Ujung Kulon.

## Hewan Tipe Peralihan



**Anoa**
*Sumber: Sakurai Midori/wikimedia.org (2017)*

Anoa (*Bubalus* sp) disebut pula kerbau kerdil yang merupakan hewan endemik di Pulau Sulawesi dan Pulau Buton. Hewan ini suka berendam di lumpur, hidup soliter, dan hanya akan bertemu dengan kawanannya jika si betina akan melahirkan. Kenapa ya?



## Hewan Tipe Australis

**Cendrawasih**
*Sumber: chee.hong/wikimedia.org (2008)*

Cendrawasih (*Paradisaea apoda*) disebut *bird of paradise* karena keindahan bulunya. Burung ini habitatnya di daerah Papua. Pada zaman dahulu, bulu burung ini dijadikan hiasan sampai ke daratan Eropa.

## Flora Indonesia



**Buah Merah**
*Sumber: Jialiang Gao/wikimedia.org (2008)*

Tanaman buah merah (*Pandanus conoideus*) yang dijadikan jamuan dalam pesta adat bakar batu oleh penduduk Wamena, Buah tanaman ini memiliki kandungan tokorefol dan betakarotin sebagai zat antioksidan. Tanaman ini dapat dijadikan obat antikanker dan membantu meningkatkan imun tubuh penderita AIDS.



**Cendana**
*Sumber: Krish Dulal/wikimedia.org (2013)*

Wangi aroma cendana sudah tidak asing lagi, bukan? Bahkan wangi cendana ini dijadikan wewangian primadona di Eropa. Tanaman cendana (*Santalum album*) adalah tanaman asli Indonesia yang banyak ditemukan di Nusa Tenggara Timur. Tanaman ini menjadi langka karena wanginya disukai oleh masyarakat Indonesia maupun internasinal. Selain itu, tanaman ini sulit dibiakkan mengingat benih kecambah cendana hanya dapat tumbuh jika menjadi parasit tanaman lain.

**Gambar 6.4** Contoh keanekaragaman flora dan fauna di Indonesia.

Indonesia juga kaya akan keanekaragaman tumbuhan, mulai dari lumut, paku, hingga tumbuhan berbiji. Beberapa tumbuhan di Indonesia merupakan tumbuhan endemik yang tidak ditemukan di mana pun di dunia. Dengan bentang alam Indonesia yang luas, mungkin saja masih ada spesies tanaman yang belum teridentifikasi. Di antara tumbuhan yang sudah diidentifikasi bahkan baru sebagian kecil diketahui manfaatnya.

Berdasarkan data Badan Informasi Geospasial (BIG), Indonesia memiliki luas daratan 1.890.739 $km^2$ dan lautan 6.315.222 $km^2$. Dengan demikian, wilayah Indonesia terdiri atas 76,96% lautan. Laut Indonesia juga memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi. Biota laut yang ada di Indonesia sangat

beraneka ragam, baik protista, tumbuhan, maupun hewan. Masih banyak kekayaan laut Indonesia yang belum dieksplorasi dan bahkan belum dimanfaatkan.

Sungguh luar biasa kekayaan alam Indonesia, bukan? Sungguh beruntung kita menjadi warga negara Indonesia. Kita harus bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena lahir di negeri yang kaya akan keanekaragaman hayati. Berikut adalah gambaran kecil betapa Tuhan memberkahi Indonesia dengan keanekaragaman flora dan fauna, baik di daratan maupun lautan.

Sebelum melanjutkan materi selanjutnya, mari sekarang kalian lakukan sebuah proyek sederhana.



**Proyek Tahap 1**

**Mengidentifikasi Keanekaragaman Hayati**

Lakukanlah observasi di sekitar tempat tinggal kalian secara berkelompok. Buatlah daftar spesies tumbuhan yang bermanfaat yang ada di daerah kalian. Untuk menambah informasi, kalian bisa melakukan wawancara dengan tokoh setempat tentang tumbuhan yang semakin jarang ditemukan di daerah kalian. Kalian juga dapat mencari informasi dari berbagai sumber yang terpercaya, baik media cetak maupun elektronik.

## 3. Manfaat Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati bukan hanya memberikan manfaat langsung kepada manusia, tetapi juga sangat penting dalam mempertahankan keberlangsungan ekosistem. Sebagai contoh, hutan hujan tropis dengan keanekaragaman hayatinya yang tinggi, lebih mendukung untuk kelestarian ekosistem dibandingkan dengan ekosistem pertanian yang monokultur

Seringkali kita mendengar ada hama tertentu yang menyerang padi, misalnya wereng. Hal ini terjadi karena hanya ada satu jenis tanaman di sana, yaitu padi. Ketiadaan predator alami wereng menyebabkan terjadinya ledakan populasi wereng. Selain itu, petani juga harus menambahkan pupuk pada lahan agar tanaman padi dapat tumbuh dengan subur. Berbeda dengan hutan hujan tropis, dengan adanya tanaman dan hewan yang beraneka ragam maka

kesempatan satu jenis hewan meningkat populasinya dengan cepat menjadi berkurang. Begitu pula dengan daur materi yang berjalan secara alami tanpa campur tangan manusia. Daun dan ranting yang telah mati akan jatuh ke tanah kemudian diurai oleh jamur dan mikroorganisme lain di dalam tanah, sehingga tidak perlu dilakukan pemupukan pada lahan hutan hujan tropis.

Selain berfungsi menjaga keseimbangan ekosistem, keanekaragaman hayati memiliki banyak manfaat lain bagi manusia. Keanekaragaman hayati merupakan sumber pangan, sandang, papan, obat-obatan, bahan kecantikan, dan ekonomi bagi manusia. Selain itu, keanekaragaman hayati juga sebagai sumber ilmu pengetahuan dan plasma nutfah dalam pengembangan varietas unggul dari sebuah spesies, seperti varietas unggul padi indragiri yang berasal dari varietas lokal barumun dan rojolele.



**Kunyit**
*Sumber: Simon A. Eugster/wikimedia.org (2014)*

Kunyit (*Curcuma domestica*) banyak ditemukan di Indonesia dan biasa digunakan sebagai bumbu masakan. Kandungan kukurmin pada kunyit dapat meningkatkan imun tubuh lho! Selain itu kandungan vitamin dan antioksidannya dapat mencegah penuaan dini.



**Tanaman Ulin**
*Sumber: Bernard DUPONT/wikimedia.org (2015)*

Tanaman ulin (*Eusideroxylon zwageri*) merupakan tanaman asli Pulau Kalimantan. Kayu tanaman ini tahan terhadap rayap, perubahan kelembapan dan suhu serta air laut, sehingga baik digunakan untuk pondasi bangunan dalam air, atap rumah, kusen, dan pintu.

**Gambar 6.5** Contoh manfaat keanekaragaman hayati bagi manusia.

## 4. Pelestarian Keanekaragaman Hayati Indonesia

Keanekaragaman hayati dapat mengalami penurunan, baik karena faktor alam maupun aktivitas manusia. Bencana alam seperti kebakaran hutan merupakan salah satu faktor alam yang mengakibatkan kerusakan ekosistem yang dapat mengancam berkurangnya keanekaragaman hayati. Secara umum, aktivitas manusia memiliki andil besar terhadap berkurangnya keanekaragaman hayati Indonesia.

Seringkali aktivitas manusia yang bertujuan untuk meningkatkan perekonomian malah mengancam keanekaragam hayati, misalnya alih fungsi lahan hutan hujan tropis menjadi perkebunan, pertanian, dan perumahan. Kegiatan ini mengakibatkan berkurangnya habitat beberapa makhluk hidup yang hidup di hutan hujan tropis dan musnahnya spesies tertentu.

Contoh lain kegiatan manusia yang mengancam keanekaragaman hayati adalah penangkapan satwa untuk diperjualbelikan. Trenggiling adalah salah satu hewan yang diburu untuk obat tradisional. Kegiatan manusia ini tentulah mengancam populasi trenggiling. Selain itu, masih banyak aktivitas manusia yang dapat menurunkan keaneakaragaman hayati seperti penyeragaman varietas tanaman dan ras hewan budi daya, penebangan hutan, dan penggunaan pestisida.

Berbagai upaya dapat dilakukan untuk tetap menjaga kelestarian keanekaragaman hayati, seperti pengelolaan hutan lindung, cagar alam, dan taman nasional. Untuk mengatasi kelangkaan tanaman dapat dilakukan perbanyakan dengan kultur jaringan, sedangkan untuk mengatasi kelangkaan hewan dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi kloning.

### Aktivitas 6.2 Ayo Menelaah

Silakan baca artikel pada tautan di samping, kemudian cobalah kalian jawab pertanyaan-pertanyaannya!

https://buku.kemdikbud.go.id/s/TLE

https://buku.kemdikbud.go.id/s/MHK

1. Apa kelebihan teknik kultur jaringan dalam mengatasi permasalahan kelangkaan tumbuhan tertentu?
2. Apa kelemahan penggunaan teknik kultur jaringan dalam mengatasi permasalahan kelangkaan tumbuhan?
3. Pada hewan juga dikenal teknik kloning. Menurut kalian, apakah teknik kloning tepat digunakan sebagai salah satu cara mengatasi permasalahan kelangkaan hewan tertentu?

## Ayo Berlatih

Setelah kalian belajar tentang keanekaragaman hayati, coba jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Bacalah artikel tentang badak jawa pada tautan di samping, kemudian jawablah pertanyaan-pertanyaannya!
   a. Deskripsikan populasi spesies badak jawa dalam bentuk grafik!
   b. Buatlah prediksi populasi badak jawa pada 20 tahun mendatang!
   c. Solusi apa yang dapat kalian tawarkan untuk mengatasi penurunan populasi badak jawa?

https://buku.kemdikbud.go.id/s/BJ

2. Seorang peneliti melakukan penelitian untuk menentukan status suatu hewan endemik dalam keadaan langka atau tidak. Untuk itu, peneliti tersebut harus menghitung populasi hewan tersebut di alam bebas. Pilihlah benar atau salah aktivitas yang dilakukan oleh peneliti tersebut!

| | Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|---|
| a. | Meletakkan kamera di beberapa tempat, kemudian menganalisis gambar hewan yang terekam dengan parameter tertentu untuk menentukan spesies yang sama. | | |
| b. | Menghitung jumlah spesies pada beberapa wilayah tertentu kemudian menghitung total dari seluruh hasil hitungan. | | |
| c. | Memberi tanda pada spesies yang ditemui hingga tidak menemukan spesies yang tidak memiliki tanda, kemudian menghitung jumlah tanda yang telah digunakan. | | |

## B. Klasifikasi Makhluk Hidup

Ketika kalian pergi ke supermarket, kalian tentu akan menuju bagian tertentu untuk menemukan barang yang akan kalian beli. Coba kalian bayangkan seandainya barang-barang tersebut tidak dikelompokkan. Tentu kalian akan kesulitan menemukannya. Seperti itulah, fungsi pengelompokan makhluk hidup.

Sebelum belajar lebih lanjut, ayo lakukan Aktivitas 6.3.

### Aktivitas 6.3 Ayo Identifikasi

Cobalah kalian lihat bahan-bahan yang dijadikan bumbu masak oleh ibumu. Catatlah jenis tanaman yang dijadikan bumbu dapur. Cobalah kalian kelompokkan bumbu-bumbu dapur tersebut, kemudian jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Bagaimanakah hasil pengelompokan yang kalian buat?
2. Apa dasar pengelompokan yang kalian buat itu?
3. Bagaimana cara kalian mengelompokkan bumbu-bumbu dapur tersebut?
4. Bandingkanlah hasil pengelompokanmu dengan teman yang lain. Manakah yang lebih baik?

## 1. Bagaimana ahli taksonomi mengelompokkan makhluk hidup?

Menurut sejarah, pada mulanya para ahli taksonomi menggunakan dua skema dalam pengelompokan makhluk hidup, yaitu klasifikasi buatan dan alami. Kedua klasifikasi ini sama-sama menggunakan ciri-ciri yang menonjol sebagai dasar klasifikasi, tetapi berbeda dalam cara penetapan ciri-ciri tersebut. Pada klasifikasi buatan, dilakukan dengan cara memilih secara bebas ciri-ciri pemersatunya terlebih dahulu, baru kemudian mengelompokkan organisme yang sesuai. Contohnya ketika melakukan pengelompokan dengan ciri pemersatu ada tidaknya sirip, maka paus akan dikelompokkan dengan ikan. Kelebihan dari klasifikasi ini adalah mudah untuk dikembangkan dan tidak mudah berubah, Namun kelemahannya, pengelompokannya tidak menunjukkan hubungan evolusioner.

Berbeda halnya dengan klasifikasi alami. Pada klasifikiasi alami, pengelompokan organisme dilakukan berdasarkan kemiripannya terlebih dahulu, baru kemudian mengidentifikasi ciri-ciri yang dimiliki satu dengan yang lain. Kelemahan klasifikasi ini adalah pengelompokannya berubah jika ditemukan informasi yang baru, seperti pengelompokan gorila, orang utan, dan simpanse yang sebelumnya digolongkan pada famili pongidae, sekarang digolongkan ke dalam famili hominidae. Begitu pula alga, yang sebelumnya dikelompokkan ke dalam kingdom plantae, sekarang dikelompokkan pada kingdom protista.

Dalam perkembangannya, muncul klasifikasi filogenetik. Klasifikasi ini digunakan untuk membedakan organisme berdasarkan genetika. Organisme yang memiliki tingkat persamaan yang lebih tinggi dalam urutan DNA atau asam nukleatnya diharapkan memiliki hubungan yang lebih dekat.

Setelah memahami sistem pengklasifikasian makhluk hidup, apakah jenis sistem yang kalian gunakan dalam mengelompokkan makhluk hidup pada Aktivitas 6.3 yang telah kalian lakukan.

## 2. Apa saja pengelompokan makhluk hidup dan peranannya?

Mari kita belajar lebih dalam lagi tentang pengelompokan makhluk hidup, tetapi sebelum itu lakukan terlebih dahulu Aktivitas 6.4.

## Aktivitas 6.4 Ayo Mengamati

**Keanekaragaman Hayati di Sekitar Kita**

Siapkanlah alat dan bahan sebagai berikut.

- Mikroskop cahaya/mikroskop stereo/lup
- Pipet tetes
- Kaca objek dan penutup
- Semut
- Air kolam/air rendaman jerami
- Air
- Lumut/paku/tanaman sekitar
- Tempe mentah

Langkah kerja:

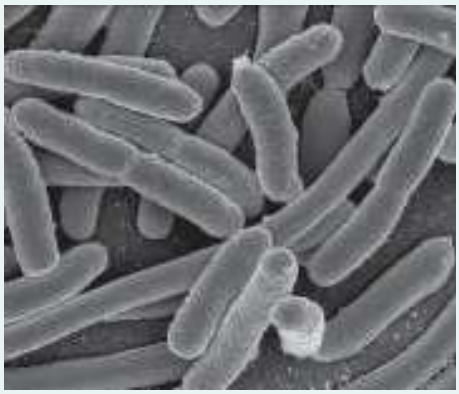
1. Ambillah setetes air kolam/air rendaman jerami, letakkan pada kaca objek kemudian tutup dengan kaca penutup. Amati di bawah mikroskop dengan pembesaran 10X atau 40X. Gambarlah organisme yang kalian temukan!
2. Ambillah tempe, kemudian amati di bawah mikroskop stereo atau lup. Gambarlah organisme yang kalian lihat!
3. Ambillah lumut/paku/tanaman sekitar, kemudian amati di bawah mikroskop stereo atau lup. Gambarlah organisme yang kalian lihat!
4. Ambillah semut, kemudian amati di bawah mikroskop stereo atau lup. Gambarlah organisme yang kalian lihat!

Pertanyaan:

1. Bagaimanakah pengelompokan yang kalian lakukan terhadap makhluk hidup yang telah kalian amati?
2. Berdasarkan hasil pengamatan tergolong kingdom apakah organisme yang kalian amati? Jelaskan!
3. Apakah ciri-ciri kingdom dari organisme yang kalian amati?
4. Apakah peranan masing-masing organisme yang kalian amati?

## Pengelompokan Makhluk Hidup
## Sistem Lima Kingdom

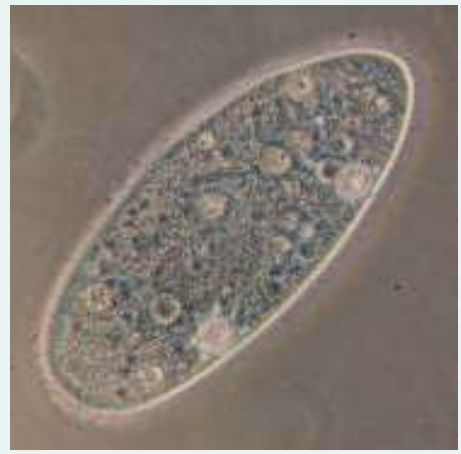
### Monera



**E. coli**
*Sumber: NIAID/wikimedia.org (2002)*

Organisme ini terkenal dengan sebutan bakteri dan berada di mana-mana, bahkan ditemukan juga dalam rongga mulut dan saluran pencernaan! Monera juga ditemukan di daerah paling ekstrem di mana makhluk hidup tidak bisa bertahan hidup. Monera adalah organisme mikroskopis dan memiliki tipe sel prokariotik. Monera diketahui sebagai penyebab penyakit, seperti bakteri *Mycobacterium tuberculose* yang menyebabkan TBC dan *Salmonella thyposa* penyebab tifus. Meskipun demikian, beberapa dari organisme ini menguntungkan bagi manusia, seperti *Lactobacillus casei* dalam pembuatan yogurt.

### Protista



**Paramecium**
*Sumber: Barfooz/wikimedia.org (2003)*

Organisme ini dikelompokkan menjadi satu karena belum memiliki jaringan yang terdiferensiasi, ukurannya ada yang mikroskopis, ada pula makroskopis. Beberapa spesies dari protista merugikan karena dapat menimbulkan penyakit, seperti *Entamoeba histolytica* penyebab diare dan *Plasmodium* yang menyebabkan penyakit malaria. Meskipun demikian, banyak juga spesies dari kelompok ini yang menguntungkan manusia, seperti *Chlorella* sebagai bahan dasar pembuatan PST (protein sel tunggal) dan *Gellidium* sebagai bahan dasar pembuatan agar-agar.



**Jamur Tempe**
*Sumber: Puspaningsih/ Kemendikbudristek (2021)*

## Fungi

Jamur tempe merupakan organisme eukariotik bersel tunggal atau banyak yang dinding selnya tersusun atas kitin. Jamur hidup dengan menguraikan sampah organik menjadi bahan anorganik. Jamur multiseluler biasanya memiliki hifa dan berkembang biak dengan menggunakan spora. Jamur bermanfaat bagi kehidupan manusia, seperti *Rhizopus stolonifera* yang berperan dalam pembuatan tempe dan *Penicillium notatum* yang menghasilkan antibiotik. Akan tetapi, banyak juga jamur yang merugikan, seperti *Microsporum* sp. menyebabkan kurap atau panu dan *Candinda albicans* yang menginfeksi vagina.

## Plantae



**Lumut**
*Sumber: Puspaningsih/Kemendikbudristek (2021)*

Plantae atau tumbuhan adalah organisme yang mampu melakukan fotosintesis karena memiliki kloroplas dalam selnya. Plantae dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu lumut, paku, dan tanaman berbiji. Tumbuhan secara umum memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusia, antara lain sebagai bahan pangan, sandang, papan, obat-obatan, kecantikan, dan estetika.

## Animalia



**Semut Rangrang**
*Sumber: Puspaningsih/Kemendikbudristek (2021)*

Animalia atau hewan adalah kelompok organisme multiseluler yang bersifat heterotrof. Sel pada kingdom animalia merupakan sel eukariotik yang tidak memiliki dinding sel. Animalia terdiri atas banyak spesies, mulai dari yang sederhana hingga kompleks, seperti porifera, coelenterata, platyhelminthes, nemathelminthes, annelida, arthropoda, moluska, echinodermata, dan chordata. Seperti pada plantae, animalia juga memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusia dan tidak jarang juga merugikan.

## C. Bakteri

Ketika kalian membeli makanan segar yang tidak dikemas, biasanya jajanan itu tidak tahan lama dan mudah basi. Mengapa bisa seperti itu? Makanan yang telah basi tidak bisa dimakan karena sudah tercemar oleh mikroorganisme, termasuk bakteri, dan dapat menyebabkan diare. Bakteri adalah makhluk uniseluer yang ukurannya 0,1 hingga 100 mikron. Seperti apakah bentuk bakteri? Apakah perannya selalu merugikan?

Sebelum belajar lebih lanjut, mari kita melakukan Aktivitas 6.5.

### Aktivitas 6.5 Ayo Mengamati

Siapkanlah alat dan bahan sebagai berikut.

- Keringat/air selokan
- Kaldu ayam/sapi
- Bunsen
- Mikroskop
- Ose
- Kapas
- Cawan petri
- MInyak imersi
- Alkohol
- Metilen biru
- Kaca objek
- Kaca penutup
- Pipet tetes
- Agar-agar tidak berwarna
- Panci

**Langkah Kerja 1: Membiakkan Bakteri**

1. Bungkuslah cawan petri dengan kertas bersih.
2. Kukuslah cawan petri dengan menggunakan panci.
3. Setelah dingin, lap cawan petri dengan kapas yang telah diberi alkohol.
4. Buatlah kaldu ayam atau sapi, kemudian kaldu ini disterilkan dengan cara dikukus.
5. Campurlah serbuk agar-agar dan kaldu tersebut kemudian kukus hingga mendidih kemudian tuang ke dalam 1/3 volume cawan petri
6. Setelah agar-agar mengeras, teteskan keringat atau air selokan, kemudian bungkus cawan petri dengan kertas.
7. Biarkan selama 1-3 hari dan amati setiap hari hingga koloni bakteri terbentuk.

Pertanyaan:

1. Bagaimana ciri-ciri koloni bakteri?
2. Apa saja faktor yang memengaruhi keberhasilan pengembangbiakan bakteri?

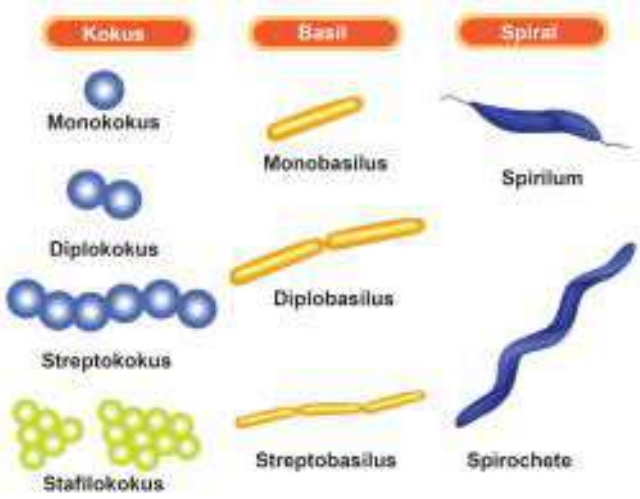
**Langkah Kerja 2: Mengamati Bakteri**

1. Bersihkan kaca objek dengan menggunakan kapas yang telah dibasahi alkohol.
2. Teteskan setetes air di atas kaca objek.
3. Ambil ose dan gores kepala ose ke koloni bakteri yang telah dibiakkan dalam cawan petri.
4. Angin-anginkan kaca objek di atas bunsen hingga kering.
5. Teteskan metilen biru di atas kaca objek tersebut, diamkan 5 menit, kemudian bilas dalam air mengalir.
6. Angin-anginkan kaca objek dan teteskan dengan minyak imersi.
7. Amati di bawah mikroskop dengan pembesaran 600X–1000X.

Pertanyaan:

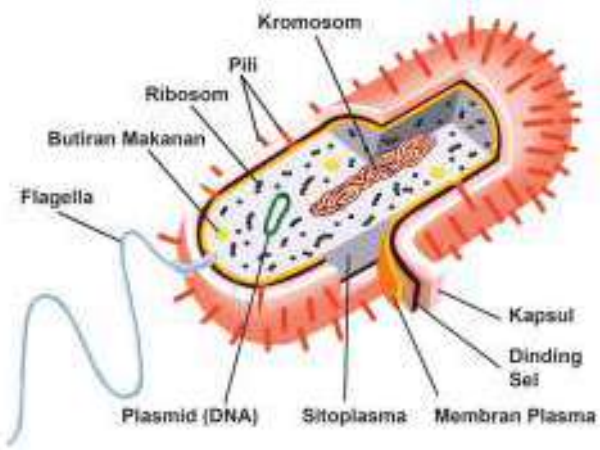
1. Apa saja bentuk bakteri yang kalian temukan?
2. Apa saja karakteristik bakteri yang dapat kalian observasi?
3. Mengapa bakteri dimasukkan ke dalam kingdom monera?

Bentuk bakteri beranekaragam. Ada tiga bentuk dasar bakteri, yaitu bulat (kokus), batang (basilus), dan spiral. Bakteri berbentuk bulat dapat hidup sendirian (monokokus), berpasangan (diplokokus), membentuk rantai (streptokokus), dan bentuk anggur (stafilokokus). Bakteri yang berbentuk basilus biasanya hidup soliter dan membentuk rantai, sedangkan bakteri berbentuk spiral dapat berbentuk koma, kumparan panjang, dan spiral.




**Gambar 6.6** Bentuk-Bentuk Bakteri

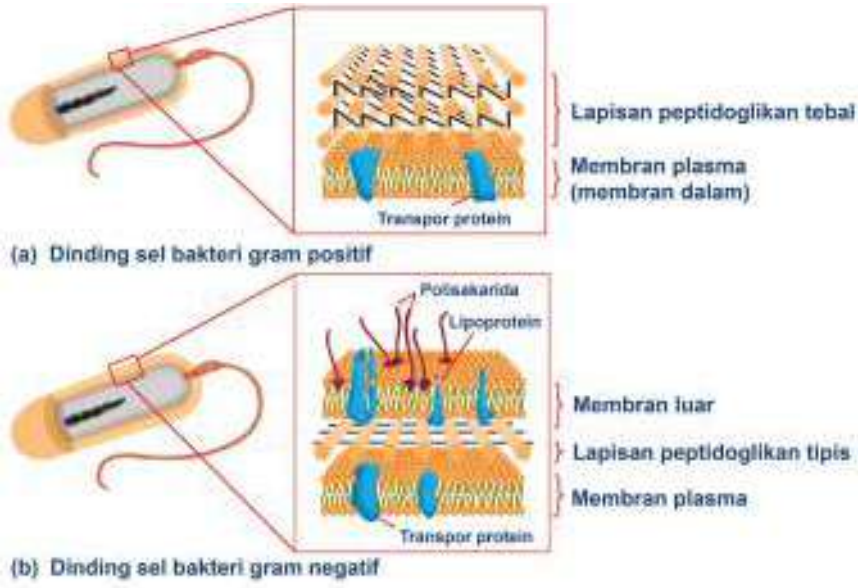
Bakteri adalah organisme uniseluler prokariotik. Prokariotik adalah sel yang tidak memiliki membran inti. Secara umum, struktur bakteri terdiri atas dinding sel, membran sel, sitoplasma, ribosom, dan nukleoid. Seperti apakah itu? Silakan kalian cermati struktur bakteri berikut.




**Gambar 6.7** Struktur Tubuh Bakteri

Dinding sel bakteri berbeda dengan dinding sel eukariotik (contohnya sel tumbuhan). Dinding sel bakteri mengandung peptidoglikan. Tebal tipisnya kandungan peptidoglikan dan struktur dinding sel dijadikan sebagai dasar pengelompokan bakteri menjadi bakteri gram positif dan bakteri gram negatif.

Untuk membedakan dua jenis bakteri ini dilakukan melalui pewarnaan gram. Bakteri gram positif memiliki dinding sel yang lebih sederhana dengan jumlah pepditoglikan relatif banyak, sedangkan bakteri gram negatif memiliki dinding sel yang kompleks dengan jumlah peptidoglikan relatif sedikit.




**Gambar 6.8** Perbedaan dinding sel bakteri gram positif dan bakteri gram negatif.

Dalam dunia kesehatan, mengetahui jenis bakteri dengan pewarnaan gram sangat penting untuk langkah penanganan pasien. Bagian lipid dari polisakarida dalam dinding sel bakteri gram negatif bersifat toksik dan dapat menyebabkan demam. Selain itu, membran luar dari bakteri gram negatif berfungsi sebagai pelindung diri sehingga lebih resisten terhadap antibiotik. Membran luar menghalangi antibiotik masuk ke dalam tubuh bakteri sehingga bakteri dapat bertahan.

Dinding sel pada bakteri dilapisi oleh kapsul. Kapsul ini merupakan lapisan lengket dari polisakarida atau protein. Kapsul membantu bakteri melekat pada substrat, menghindari dehidrasi, dan melindungi diri dari sistem kekebalan tubuh inang.

Bakteri cenderung dikenal sebagai patogen yang menyebabkan penyakit pada manusia. Akan tetapi, patogen-patogan ini hanya sebagian kecil dari jumlah spesies bakteri. Selain menyebabkan penyakit, bakteri juga memiliki

peranan positif, antara lain dalam bidang bioteknologi. Keju, yogurt, dan nata de coco adalah salah satu produk makanan hasil kerja bakteri. Di dunia farmasi, bakteri dimanfaatkan untuk memproduksi insulin dengan menggunakan teknik bioteknologi modern. DNA manusia penghasil insulin diinjeksikan ke dalam tubuh bakteri, sehingga bakteri tersebut dapat memproduksi insulin dalam skala besar.

Bakteri juga dimanfaatkan sebagai agen dalam pembuatan tanaman transgenik. Tanaman transgenik adalah organisme yang genetiknya telah dimodifikasi. Contohnya adalah tanaman jagung yang telah disisipi gen Bt dari bakteri *Bacillus thuringiensis* yang tahan serangan hama. Selain itu, bakteri juga dimanfaatkan dalam produksi vaksin, vitamin, dan bioremediasi.

## D. Fungi

Para ahli nutrisi menyarankan lebih baik memakan tempe dibandingkan kedelai karena nutrisi pada tempe lebih baik dibandingkan kedelai. Mengapa demikian? Pernahkah kalian mencermati tempe? Kira-kira apakah bagian berwarna putih pada tempe? Mari lakukan Aktivitas 6.6 untuk mengetahui lebih dalam tentang tempe.



### Aktivitas 6.6 Ayo Mengamati

**Pengamatan Jamur**

Siapkanlah alat dan bahan sebagai berikut.

- Mikroskop stereo/cahaya
- tempe
- Kaca penutup
- Kaca objek

Langkah kerja

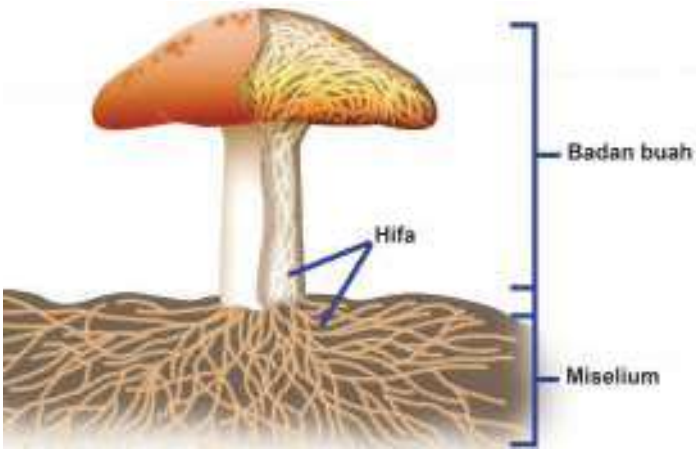
1. Potonglah tempe dan biarkan selama dua hari dalam keadaan terbuka hingga jamurnya tebal.
2. Ambil sebagian kecil tempe dan letakkan pada kaca objek.
3. Amati di bawah mikroskop stereo atau cahaya.

Pertanyaan:

1. Gambar hasil pengamatan kalian dan identifikasilah bagian-bagian-nya!
2. Menurut kalian termasuk kingdom apakah spesies yang kalian amati? Jelaskan!

Fungi atau disebut jamur merupakan organisme heterotrof yang mengadsorpsi nutrien dari lingkungan sekitar. Fungi spesiesnya beraneka ragam, sebagian besar multiseluler tetapi ada juga uniseluler seperti *Saccharomyces cerevisiae* yang digunakan dalam pembuatan tapai.

Tubuh fungi multiseluler biasanya membentuk benang-benang yang disebut dengan hifa. Hifa terdiri atas dinding sel berbentuk tabung yang mengelilingi sitoplasma. Dinding sel pada fungi mengandung kitin. Hifa membentuk anyaman bercabang-cabang yang disebut dengan miselium. Miselium membuat penyerapan nutrien menjadi lebih efisien.




**Gambar 6.9** Struktur Tubuh Jamur

Jamur bereproduksi secara seksual dan aseksual dengan menggunakan spora. Spora aseksual pada fungi inilah yang dijadikan dasar para ahli taksonomi mengelompokkan fungi. Akan tetapi, kebanyakan fungi melakukan reproduksi aseksual dengan membentuk tubuh berfilamen yang menghasilkan spora haploid melalui mitosis.

Peranan fungi yang tidak asing bagi kalian adalah dapat dikonsumsi. Beberapa jenis fungi seperti jamur kuping, jamur tiram, jamur kancing, dan jamur enoki disarankan untuk dikonsumsi karena memiliki nutrisi yang baik. Oleh karena itu, banyak orang membudidayakannya. Bagaimana cara membudidayakan jamur? Apa saja yang memengaruhi pertumbuhan jamur? Untuk menjawab pertanyaan ini, ayo kalian lakukan Aktivitas 6.7.



## Aktivitas 6.7 Ayo Mengamati

**Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan Jamur Tiram**

Alat dan bahan:

1. Baglog (serbuk kayu, bekatul, biji-bijian)
2. Bibit jamur tiram

Langkah kerja:

1. Pikirkan faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan jamur, seperti kelembapan, jumlah air, suhu, dan komposisi bahan baglog.
2. Susun rencana untuk membuktikan pengaruh salah satu faktor yang kalian pilih.
3. Lakukan percobaan sesuai dengan rencana yang telah kalian susun.
4. Amati bagaimana pertumbuhan jamur tiram.

Pertanyaan:

1. Buatlah tabel hasil pengamatan!
2. Menurut kalian, apakah varibel bebas yang kalian ujikan memengaruhi pertubuhan jamur? Jelaskan!
3. Apa saja faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan jamur selain variabel bebas yang kalian ujikan?

Selain untuk makanan, fungi memiliki banyak peranan. Fungi berperan sebagai dekomposer dalam proses daur materi. Tanpa fungi maka karbon, nitrogen, dan unsur-unsur lain akan tetap terikat dalam material organik. Melihat kemampuan ini, para ahli memanfaatkan beberapa jenis fungi sebagai agen bioremediasi. Beberapa fungi melakukan simbiosis mutualisme dengan tanaman, hewan, alga, dan sianobakteria sehingga menguntungkan bagi

organisme yang diajak bersimbiosis untuk bertahan hidup. Contoh simbiosis mutualisme yang dilakukan jamur dengan alga hijau adalah liken (lumut kerak). Meskipun demikian, beberapa fungi juga merupakan patogen pada organisme lain, seperti penyakit kurap dan panu pada manusia.

## Proyek Tahap 2

**Mengidentifikasi Kelompok**

Setelah kalian selesai mengidentifikasi spesies makhluk hidup pada kegiatan Proyek Tahap 1, pilihlah satu spesies yang ada di sekitarmu yang terancam punah dan menarik untuk kalian pelajari. Identifikasilah kelompok spesies tersebut dalam sistem klasifikasi lima kingdom dan ciri-ciri spesies tersebut. Identifikasilah penyebab mengapa spesies tersebut jarang ditemukan dan analisislah dampak jika spesies tersebut musnah. Setelah itu, pikirkan dan lakukan aksi nyata untuk mengatasi masalah tersebut. Selamat bekerja!

## Ayo Berlatih

Setelah kalian belajar tentang klasifikasi makhluk hidup, ayo coba jawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Pada suatu hari, kalian pergi mendaki ke puncak gunung. Selama perjalanan, kalian menemukan beberapa tanaman, seperti lumut, paku, ilalang, pinus, dan cemara. Jika kalian diminta mengelompokkan tanaman itu dengan menentukan ciri pemersatu yang kalian sukai, bagaimanakah hasil pengelompokan kalian? Apa yang menjadi dasar pengelompokan tersebut?
2. Bacalah artikel tentang mikoriza pada tautan di samping, kemudian jawablah pertanyaan-pertanyaannya!

https://buku.kemdikbud.go.id/s/MKA

a. Tentukan apakah pernyataan berikut benar atau salah!

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Mikoriza merupakan simbiosis mutualisme antara fungi dengan akar tumbuhan. | | |
| Semaian pinus tumbuh dengan baik saat dipindahkan jika ada mikoriza pada akarnya. | | |
| Pada mikoriza, fungi yang mengkolonisasi ke dalam, di permukaan, dan di sekitar akar membantu dalam memperluas penyerapan unsur hara. | | |

b. Seorang peneliti meneliti pertumbuhan bibit tanaman mangga dengan mengukur tinggi tanaman setiap hari. Dalam penelitiannya, ia juga mengamati tinggi bibit mangga yang diberi mikoriza dan tanpa mikoriza.

i) Berdasarkan informasi tersebut, apakah variabel bebas dan terikatnya?
ii) Susunlah hipotesis untuk percobaan tersebut!
iii) Tentukan apakah pernyataan berikut benar atau salah?

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Tujuan penelitian ini adalah ingin mengetahui efektivitas mikoriza dalam pertumbuhan bibit mangga. | | |
| Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu cara meningkatkan pertumbuhan bibit tanaman mangga. | | |
| Peneliti ingin membandingkan pertumbuhan bibit mangga di tempat kering dan lembap. | | |

c. Menurutmu apakah mikoriza ini dapat digunakan di daerah pertanian? Jelaskan!

## E. Makhluk Hidup dalam Ekosistem

Cobalah kalian perhatikan lingkungan sekitar. Kalian akan menemukan bahwa satu jenis spesies akan bergantung pada spesies lainnya. Contohnya, lebah mengisap nektar bunga untuk dijadikan madu, sedangkan tanaman memerlukan lebah untuk membantu proses penyerbukan sehingga tanaman dapat memperbanyak diri melalui biji. Seperti itulah makhluk hidup berinteraksi dalam ekosistemnya. Makhluk hidup harus berinteraksi dengan makhluk hidup lainnya dan lingkungan sekitar untuk bertahan hidup. Apakah itu ekosistem? Seperti apa interaksi yang terjadi di dalamnya?

Sebelum belajar lebih lanjut, ayo lakukan Aktivitas 6.8.



### Aktivitas 6.8 Ayo Mengamati

Alat dan bahan:

- Termometer
- Lux meter

Langkah kerja:

1. Pergilah ke suatu ekosistem yang ada di sekitar kalian, seperti sawah, kolam, atau kebun secara berkelompok.
2. Ukurlah suhu dan intensitas cahaya dengan termometer dan lux meter.
3. Catatlah benda tak hidup dan makhluk hidup yang ditemukan dalam tabel. Jika memungkinkan, catat jumlahnya.
4. Amati interaksi yang terjadi antarmakhluk hidup di ekosistem tersebut.

Pertanyaan:

1. Buatlah kemungkinan rantai makanan dan jaring-jaring makanan yang terjadi pada ekosistem tersebut!
2. Seperti apakah interaksi yang terjadi antarkomponen ekosistem, baik antarkomponen biotik maupun interaksi antara komponen biotik dan abiotik?
3. Adakah hubungan antara makhluk hidup dengan benda mati di tempat yang kalian amati? Seperti apakah itu?

Istilah ekosistem pertama kali dikenalkan oleh Tansley, seorang ahli botani Inggris, pada tahun 1935. Ekosistem adalah unit struktural dan fungsional ekologi di mana organisme hidup berinteraksi satu sama lainnya dan dengan lingkungan sekitarnya. Setiap ekosistem memiliki ciri khas karena adanya perbedaan komponen biotik (makhluk hidup) dan abiotik (lingkungan).

## 1. Interaksi Antarkomponen Ekosistem

Dalam ekosistem, komponen biotik dan abiotik saling berhubungan melalui siklus materi dan aliran energi. Siklus materi adalah perputaran materi yang terjadi di antara komponen ekosistem. Materi yang dimaksud adalah senyawa kimia penyusun tubuh makhluk hidup, seperti air, karbon, oksigen, nitrogen, dan sulfur. Senyawa kimia tersebut berpindah dari komponen biotik ke abiotik dan kembali lagi ke komponen biotik.

Berbeda halnya dengan energi. Di ekosistem, energi mengalir dan tidak kembali. Energi matahari ditangkap oleh tumbuhan, kemudian energi tumbuhan digunakan oleh konsumen tingkat pertama, kedua, dan seterusnya. Dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik berikutnya, energi yang berpindah hanya sekitar 10% dari sumber energi yang diperoleh karena sisanya terbuang dalam bentuk panas melalui respirasi. Berdasarkan hukum kekekalan energi, energi hanya berubah bentuk, tidak dapat dimusnahkan maupun diciptakan. Di ekosistem, energi panas tidak dapat dimanfaatkan kembali oleh produsen sehingga energi tidak kembali lagi ke ekosistem.

Pada ekosistem terjadi peristiwa makan dan dimakan yang disebut dengan rantai makanan. Rantai makanan ini saling berkaitan sehingga membentuk jaring-jaring makanan (Gambar 6.10 dan 6.11).

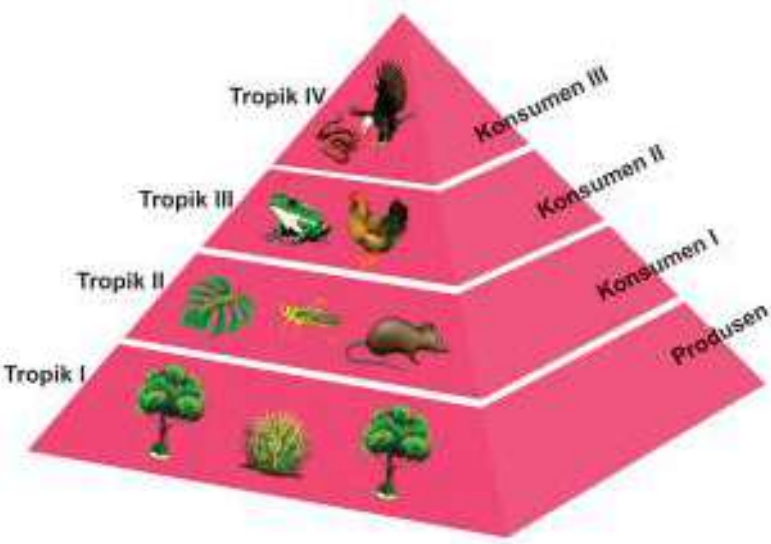



**Gambar 6.10** Rantai Makanan




**Gambar 6.11** Jaring-Jaring Makanan

Piramida makanan adalah diagram yang menampilkan susunan tingkat trofik satu dengan lainnya berdasarkan jumlah, massa, atau jumlah energi pada setiap trofiknya. Tingkat trofik adalah posisi organisme dalam rantai makanan atau jaring-jaring makanan. Tingkat trofik I adalah produsen seperti tumbuhan, tingkat trofik II adalah konsumen I yang memakan produsen, sedangkan tingkat trofik III adalah konsumen II yang memakan konsumen I.




**Gambar 6.12** Piramida Energi

Gambar 6.12 merupakan contoh piramida energi. Pada piramida energi ini, ukuran setiap blok (trofik I, II, dan seterusnya) menunjukkan energi yang dimiliki oleh tingkat trofik tersebut. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa tingkat trofik I memiliki jumlah energi yang lebih besar dari tingkat trofik II, begitu pula selanjutnya.

Interaksi antarmakhluk hidup yang dapat terjadi dalam sebuah ekosistem adalah sebagai berikut.

1. Predasi, yaitu hubungan antara predator dengan mangsanya. Hubungan antara tikus dan ular adalah contoh predasi pada Gambar 6.12.
2. Kompetisi, yaitu hubungan persaingan, seperti hubungan antara pohon dan rumput yang bersaing mendapatkan unsur hara dan air di dalam tanah.
3. Netral, yaitu hubungan yang tidak saling mengganggu. Contohnya adalah interaksi pohon dengan ular pada Gambar 6.12.
4. Simbiosis, yaitu interaksi dua jenis makhluk hidup yang hidup bersama. Interaksi simbiosis ini ada yang saling menguntungkan (simbiosis mutualisme), ada yang dalam interaksinya satu organisme mengalami kerugian sedangkan yang lainnya mengalami keuntungan (simbiosis parasitisme), serta ada yang dalam interaksinya satu organisme mendapat keuntungan sedangkan yang lainnya tidak mendapat kerugian ataupun keuntungan (simbiosis komensalisme).
5. Antibiosis, yaitu interaksi dua jenis makhluk hidup di mana salah satunya mengeluarkan racun untuk membunuh makhluk hidup lainnya. Seperti interaksi antara jamur penicillium dengan bakteri, di mana jamur ini mengeluarkan antibiotik yang dapat membunuh bakteri.

Berdasarkan jenis interaksi tersebut, dapatkah kalian mengidentifikasi interaksi yang terjadi antarkomponen biotik yang kalian temukan pada Aktivitas 6.5?

Dalam ekosistem, interaksi bukan hanya antarkomponen biotik, tetapi juga interaksi antara komponen biotik dan abiotik misalnya hubungan antara tanah dan pohon. Pohon memperoleh unsur hara dari dalam tanah yang diperlukan untuk tumbuh. Di sisi lain daun, ranting, dan buah yang jatuh ke tanah mengalami pembusukan sehingga menambah unsur hara di dalam tanah.

Jika interaksi-interaksi ini terjadi secara dinamis maka ekosistem berada dalam keseimbangan. Keseimbangan ekosistem ini perlu dipertahankan untuk keberlangsungan hidup makhluk hidup di dalamnya. Gangguan pada keseimbangan ekosistem akan memberikan dampak yang buruk. Coba kalian perhatikan rantai makanan pada Gambar 6.12. Jika belalang kita musnahkan dalam ekosistem itu maka predatornya yaitu katak akan mengalami penurunan jumlah, sedangkan tanaman padi akan meningkat jumlahnya karena tidak ada belalang yang memakannya. Berkurangnya jumlah katak pada gilirannya akan berpengaruh terhadap kelangsungan hidup organisme di tingkat trofik berikutnya.

## Ayo Berlatih

Setelah kalian belajar tentang makhluk hidup dalam ekosistem, ayo cermati paragraf berikut, kemudian jawablah pertanyaannya!

Seorang peneliti melakukan pengamatan pada suatu area di pinggir danau. Dia menemukan eceng gondok, siput, ketam, ikan, dan berang-berang. Dia ingin mengetahui pengaruh ketam terhadap populasi siput dengan mencoba membandingkan jumlah populasi siput di wilayah yang ada ketam dengan tidak ada ketam.

Tentukanlah benar atau salah pernyataan tentang penelitian tersebut!

| No. | Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|---|
| 1. | Peneliti bermaksud mengidentifikasi interaksi yang terjadi antara kepiting dan siput. | | |
| 2. | Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk memprediksi populasi eceng gondok | | |

## Proyek Tahap 3

**Kampanyekan Proyek**

Setelah kalian menyelesaikan Proyek Tahap 2, publikasikan hasil proyek kalian dan ajakan kepada masyarakat agar lebih peduli dan ikut berpartisipasi dalam menjaga makhluk hidup yang terancam punah. Gunakan berbagai media yang dapat menjangkau sebanyak mungkin warga. Selamat bekerja!

## Intisari

1. Keberagaman makhluk hidup memiliki peranan penting dalam keseimbangan ekosistem.
2. Keanekaragaman hayati adalah keberagaman yang terjadi pada makhluk hidup yang menunjukkan adanya variasi gen, spesies, dan ekosistem pada suatu daerah.
3. Keanekaragaman hayati bermanfaat untuk sandang, pangan, papan, obat-obatan, kecantikan, plasma nutfah, dan keseimbangan eksositem.
4. Pengelompokan makhluk hidup dilakukan berdasarkan persamaan dan perbedaan ciri morfologi, anatomi, dan fisiologi dari makhluk hidup.
5. Interaksi antarkomponen ekosistem secara dinamis akan mempertahankan keseimbangan ekosistem.
6. Pemanfaatan keanekaragaman hayati dengan bijak adalah salah satu upaya dalam melestarikan keanekaragaman hayati.

## Ayo Cek Pemahaman

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Seorang peternak memelihara beberapa hewan untuk dijual, yaitu belut, ayam, lele, sapi, bebek, dan ikan. Agar memudahkan dalam pemeliharaan, ia mengelompokkan binatang tersebut. Buatlah pengelompokan sederhana untuk binatang tersebut!

2. Perhatikan jaring-jaring makanan makanan berikut!




a. Tentukanlah apakah pernyataan berikut benar atau salah!

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Udang dan siput berkompetisi untuk mendapatkan makanan. | | |
| Jika ikan besar dihilangkan pada jaring-jaring makanan tersebut maka populasi udang akan meningkat tajam. | | |
| Kodok, ikan besar, dan ular merupakan organisme pada tingkatan trofik III. | | |

b. Seorang peneliti meneliti tentang jaring-jaring makanan tersebut, kemudian mencoba membuat sebuah piramida jumlah dari jaring-jaring makanan tersebut. Tentukanlah benar atau salah aktivitas yang dilakukannya!

| Aktivitas | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Menghitung jumlah masing-masing organisme pada tingkat tropiknya. | | |
| Menimbang berat kering organisme pada masing-masing tingkat tropik. | | |
| Menggambar ukuran blok sesuai dengan jumlah organisme pada tingkat tropik. | | |

## Pengayaan

Bacalah artikel pada tautan di samping.

Secara berkelompok, analisislah peranan produsen dan konsumen dalam setiap daur materi!

https://buku.kemdikbud.go.id/s/DB

## Ayo Berefleksi

Setelah kalian mempelajari Bab VI, pembelajaran apa yang dapat kalian ambil? Bagaimanakah sebaiknya kalian bersikap terhadap makhluk hidup lainnya?

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI**
**REPUBLIK INDONESIA, 2023**
Ilmu Pengetahuan Alam untuk SMA/MA Kelas X (Edisi Revisi)
Penulis : Niken Resminingpuri Krisdianti, Elizabeth Tjahjadarmawan, Ayuk Ratna Puspaningsih
ISBN : 978-623-118-461-0 (jil.1 PDF)



*Sumber: freepik/freepik.com (2023)*

# Bab VII

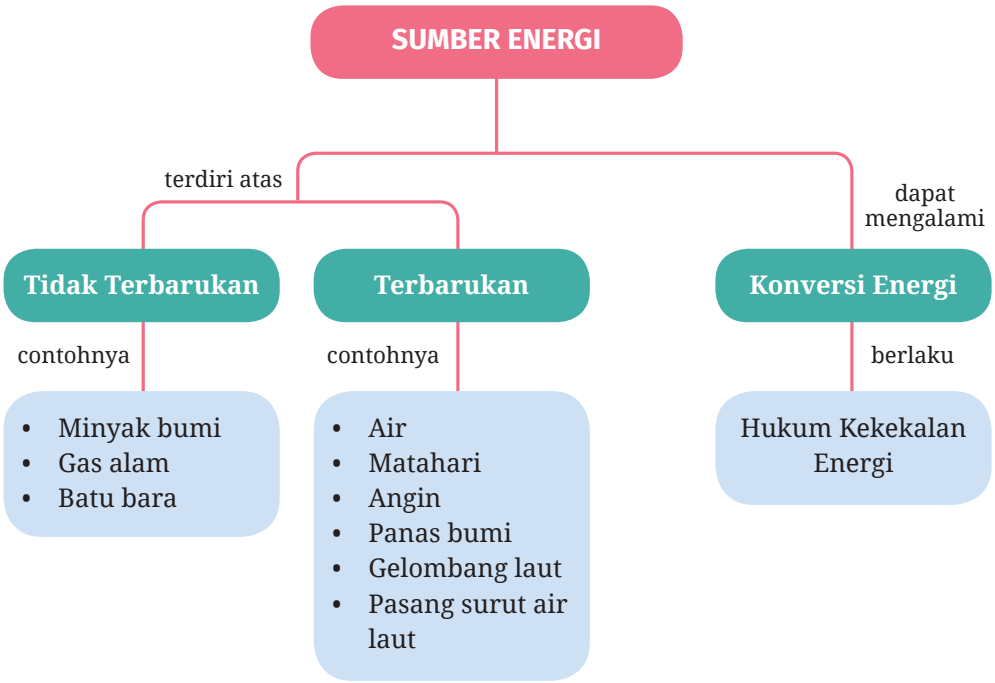
# Energi Terbarukan

■ Pada era teknologi sekarang, energi listrik telah menjadi kebutuhan penting bagi masyarakat. Tahukah kalian, ternyata masih ada daerah di Indonesia yang belum dialiri energi listrik?

## Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menemukan fakta masalah ketersediaan energi yang terjadi saat ini, mengidentifikasi berbagai jenis sumber energi dan potensi sumber energi lokal beserta dampak penggunaannya, menemukan masalah ketersediaan energi yang ada di lingkungan sekitar tempat tinggal, membuat produk pemanfaatan sumber energi alternatif, serta membuat alat atau prototipe penghasil energi sederhana sebagai solusi masalah ketersediaan energi.

## Peta Konsep




## Kata Kunci

- daya
- energi
- hukum kekekalan energi
- konversi energi
- sumber energi

Pernahkah kalian mengalami mati listrik selama berjam-jam di rumah? Bagaimana rasanya? Tentu kalian merasa terganggu, terutama jika kalian sedang menggunakan alat elektronik. Masyarakat Desa Plaosan, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur pernah mengalami kehidupan sulit mengakses energi listrik selama bertahun-tahun.



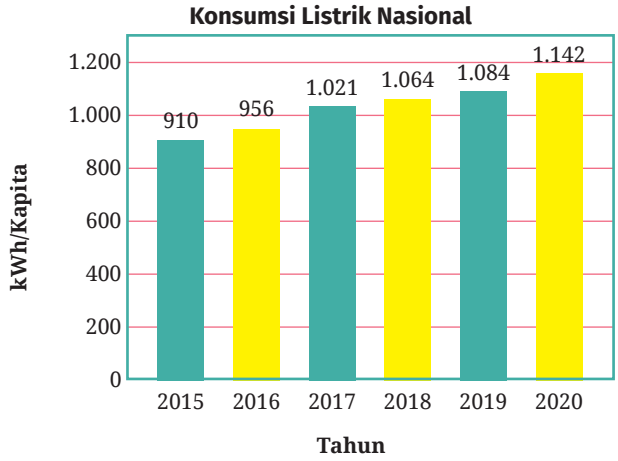

**Gambar 7.1** Lokasi Desa Plaosan, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur
*Sumber: Google Earth/earth.google.com (2023)*

Desa Plaosan berada di kaki Gunung Argopuro. Terdapat 955 kepala keluarga yang tersebar di dua belas dusun di Desa Plaosan. Akses menuju Desa Plaosan cukup sulit karena daerahnya berbukit-bukit, bahkan salah satu dusun, yaitu Dusun Sosokan, tidak dapat diakses oleh kendaraan bermotor.

Bagaimana solusi agar masyarakat di daerah terpencil tetap dapat menikmati energi listrik? Bagaimana sumber energi alternatif di lingkungan sekitar tempat tinggal dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan atau meminimalisir penggunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari? Kalian akan menelusuri lebih lanjut dalam bab ini.

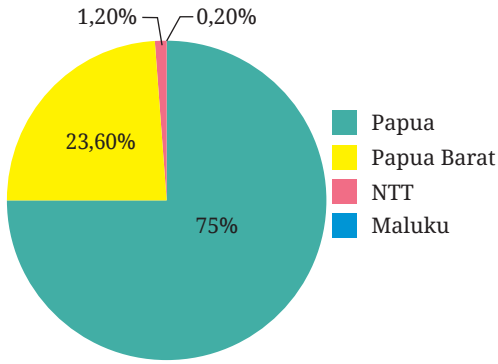
## A. Urgensi Isu Kebutuhan Energi Listrik

Pada era teknologi industri dan digital ini, energi telah menjadi kebutuhan dasar untuk kelangsungan hidup manusia. Hal ini terjadi karena manusia sudah memiliki ketergantungan terhadap teknologi yang mempermudah pekerjaannya. Dampaknya adalah kebutuhan akan energi listrik terus meningkat. Hal tersebut terlihat dari data yang ditampilkan pada Gambar 7.2.




**Gambar 7.2** Grafik konsumsi energi listrik Indonesia tahun 2013 sampai 2019 dan target konsumsi energi listrik tahun 2020.
*Sumber: Kementerian ESDM (2020)*

Saat konsumsi energi listrik masyarakat terus meningkat dengan ketersediaannya yang terbatas, masih ada daerah yang belum dapat menikmati energi listrik. Desa Plaosan hanyalah satu contoh daerah yang belum menikmati energi listrik. Menurut Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Arifin Tasrif, dan Direktur Utama PLN, Zulkifli Zaini, terdapat 433 desa yang belum mendapatkan akses energi listrik. Data tersebut dihimpun hingga tahun 2019. Secara lengkapnya, kalian dapat melihat datanya pada Gambar 7.3.




**Gambar 7.3** Persentase jumlah desa yang belum terelektrifikasi di Indonesia tahun 2019.
*Sumber: Nova Wahyudi (2020)*

Faktor-faktor yang menjadi kendala elektrifikasi desa-desa tersebut adalah adanya hambatan di sisi keamanan dan masalah infrastruktur karena berada di daerah terpencil, sehingga sumber-sumber energi di desa tersebut harus dimanfaatkan.

Informasi secara lengkap, dapat kalian baca pada tautan di samping.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/TIE

Tidak tersedianya energi listrik di suatu daerah berdampak pada berbagai aspek kehidupan, seperti kesehatan, sosial, pendidikan, ekonomi, dan lingkungan. Contohnya adalah pengalaman masyarakat Desa Plaosan. Pertolongan bagi masyarakat yang sakit dan ibu melahirkan sangat sulit, terutama pada malam hari. Anak-anak juga tidak bisa belajar pada malam hari. Masyarakat kesulitan dalam mengakses informasi. Kebanyakan masyarakat bekerja sebagai peternak dan petani. Masyarakat kesulitan dalam mengembangkan usahanya karena keterbatasan akses teknologi. Berdasarkan hal-hal yang telah diulas, kalian dapat memahami betapa pentingnya ketersediaan energi listrik.

Kalian sudah mengetahui masalah ketersediaan energi di Indonesia. Ayo lakukan Aktivitas 7.1.

**Aktivitas 7.1** **Ayo Cari Tahu**

Carilah informasi mengenai pertumbuhan penduduk Indonesia dari sumber terpercaya. Jelaskanlah kaitannya dengan data penggunaan energi listrik masyarakat Indonesia yang ditunjukkan pada Gambar 7.2.

## B. Berbagai Macam Bentuk Energi

Kalian telah mempelajari materi tentang energi saat SMP. Sebelum membahas materi selanjutnya, kalian perlu mengingat kembali tentang energi dan berbagai bentuk energi yang pernah kalian pelajari di SMP.

## 1. Energi Kinetik

Energi yang dimiliki oleh benda bergerak disebut energi kinetik. Secara matematis, dinyatakan dengan persamaan:

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (7.1)$$

Keterangan:
$E_K$ = energi kinetik (joule, J)
$m$ = massa benda (kg)
$v$ = kecepatan benda (m/s)

## 2. Energi Potensial Gravitasi

Di bawah pengaruh gaya gravitasi bumi, benda akan memiliki energi yang tersimpan bergantung pada posisinya terhadap bumi. Energi ini disebut dengan energi potensial gravitasi. Secara matematis, dinyatakan dengan persamaan:

$$E_p = m \,.\, g \,.\, h \qquad (7.2)$$

Keterangan:
$E_p$ = energi potensial gravitasi (J)
$m$ = massa benda (kg)
$g$ = percepatan gravitasi (10 m/s$^2$)
$h$ = ketinggian benda dari permukaan bumi (m)

## 3. Kalor

Ketika terjadi perubahan suhu pada benda, terdapat energi yang diserap atau dilepaskan oleh benda, yaitu kalor. Secara matematis, kalor dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = m \,.\, c \,.\, \Delta T \qquad (7.3)$$

Keterangan:
$Q$ = kalor (J)
$m$ = massa benda (kg)
$c$ = kalor jenis (J/kg.K)
$\Delta T$ = perubahan suhu (kelvin, K)

## 4. Energi Listrik

Muatan listrik $Q$ memiliki medan listrik, kemudian muatan listrik lainnya ($q$) dipindahkan dari satu tempat ke tempat yang lain dalam pengaruh medan listrik $Q$, maka muatan listrik $q$ memiliki energi. Secara matematis, energi listrik dinyatakan dengan persamaan:

$$W = V \,.\, I \,.\, t \qquad (7.4)$$

Pada persamaan tersebut, berlaku hukum Ohm.

$$V = I \,.\, R \qquad (7.5)$$

Keterangan:
$W$ = energi listrik (J)
$V$ = beda potensial atau tegangan listrik (volt, V)
$I$ = kuat arus listrik (ampere, A)
$R$ = hambatan listrik (ohm, Ω)
$t$ = selang waktu (s)

Pada penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari, energi listrik diukur dengan waktu pemakaiannya. Energi listrik per satu satuan waktu disebut sebagai besaran daya. Secara matematis, daya dinyatakan dengan persamaan:

$$P = \frac{W}{t} \qquad (7.6)$$

Keterangan:
$P$ = daya (watt, W)
$E$ = usaha (J)
$t$ = waktu (s)

Energi tidak selalu dinyatakan dalam satuan SI, joule. Satuan energi dalam kaitannya dengan daya biasa dinyatakan dengan kilowatt jam (kWh).

1 kWh = 1.000 W × 60 menit
1 kWh = 1.000 W × 3.600 s
1 kWh = $3{,}6 \times 10^6$ W.s
1 kWh = $3{,}6 \times 10^6$ J

## C. Konversi Energi

Konversi energi merupakan proses perubahan bentuk energi dari suatu bentuk ke bentuk energi lainnya. Proses perubahan bentuk energi berlaku hukum kekekalan energi yang berbunyi:

**Hukum Kekekalan Energi**

Energi bersifat kekal, artinya energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, energi hanya dapat berubah bentuk.

Secara matematis, dinyatakan sebagai berikut.

$$\text{Energi awal} = \text{energi akhir} \qquad (7.7)$$

Konsep ini menjadi prinsip kerja dasar bagaimana satu bentuk energi dapat berubah ke bentuk energi lainnya, termasuk perubahan bentuk energi kimia dari suatu sumber energi menjadi energi listrik.

Kalian sudah mengingat kembali bentuk-bentuk energi. Ayo lakukan Aktivitas 7.2. Manfaatkan pengetahuan yang telah kalian dapatkan pada materi pengukuran untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut. Salinlah tabel di bawah pada buku latihan kalian dan lengkapi bagian yang kosong!

### Aktivitas 7.2 Ayo Identifikasi

1. Tentukanlah besaran-besaran yang perlu diketahui untuk mengetahui besar energi terkait beserta dimensi dan alat ukurnya!

| No. | Bentuk Energi | Besaran yang perlu diketahui | Satuan SI | Alat Ukur | Dimensi |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Energi kinetik pada mobil mainan yang bergerak lurus. | | | | |
| 2. | Energi potensial pada benda yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3. | Kalor air yang dipanaskan. | | | | |
| 4. | Energi listrik yang dihasilkan oleh generator kecil. | | | | |

2. Tentukanlah satuan SI dan dimensi dari besaran yang merupakan konstanta berikut ini!

| No. | Bentuk Energi | Besaran/ Konstanta | Satuan SI | Dimensi |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Energi potensial gravitasi | Percepatan gravitasi (g) | | |
| 2. | Kalor | Kalor jenis (c) | | |

3. Buktikanlah bahwa persamaan berikut ini memiliki dimensi yang sama dengan energi!

| No. | Dimensi Energi | Bentuk Energi | Persamaan | Dimensi |
|---|---|---|---|---|
| 1. | | Energi kinetik | $E_K = \frac{1}{2}mv^2$ | |
| 2. | | Energi potensial gravitasi | $E_P = mgh$ | |
| 3. | | Kalor | $Q = mc\Delta T$ | |

## D. Berbagai Macam Sumber Energi

Terdapat berbagai jenis sumber energi yang dapat dimanfaatkan saat ini. Berikut ini beberapa di antaranya.

### 1. Energi dari Bahan Bakar Fosil

Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang terbentuk dari proses ilmiah yang dialami oleh sisa-sisa hewan dan tanaman purba dalam kurun waktu yang sangat lama dengan orde jutaan tahun. Bahan bakar fosil ini tersusun atas senyawa hidrokarbon. Contoh bahan bakar fosil adalah batu bara, minyak bumi, dan gas alam.

**2. Energi Biogas**

Energi biogas berasal dari limbah organik yang diolah melalui proses *anaerobic digestion* dengan bantuan bakteri dalam kondisi tanpa oksigen. Limbah organik ini antara lain kotoran sapi, sampah dedaunan, dan sampah-sampah lain yang berasal dari organisme yang belum lama mati.

**3. Energi Air**

Energi air merupakan salah satu energi paling banyak digunakan untuk keperluan pembangkit energi listrik, khususnya di Indonesia. Air ada dimana-mana dan jumlahnya tidak pernah habis. Prinsip kerjanya adalah aliran air di permukaan bumi dibendung kemudian dialirkan menuju ke tempat yang lebih rendah untuk memutar turbin sehingga menghasilkan energi listrik.

**4. Energi Angin**

Energi angin merupakan sumber energi yang memanfaatkan angin untuk memutar kincir angin sehingga dihasilkan energi listrik.

**5. Energi Matahari**

Energi matahari merupakan sumber energi yang memanfaatkan matahari untuk menyinari atau memberi energi pada perangkat lempengan logam sel surya, sehingga menghasilkan energi listrik.



(a) (b)

**Gambar 7.4** Sumber Energi (a) PLTB Sidrap, (b) PLTU

*Sumber: (a) Dian Lorinsa/ebtke.esdm.go.id (2018), (b) Humas EBTKE/ebtke.esdm.go.id (2021)*

6. **Energi Gelombang Laut**

   Energi gelombang laut atau ombak merupakan energi yang bersumber dari gerak naik turunnya gelombang air laut. Gerakan naik turun gelombang air tersebut memberikan tekanan pada turbin, hingga turbin dapat berputar dan menghasilkan energi listrik. Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki potensi tinggi dalam memanfaatkan sumber energi dari gelombang laut. Namun, sumber ini masih dalam taraf pengembangan di Indonesia.

7. **Energi Pasang Surut**

   Energi Pasang Surut merupakan energi yang bersumber dari proses pasang surut air laut. Terdapat dua jenis sumber energi pasang surut air laut, yaitu perbedaan tinggi rendah air laut saat pasang dan surut, dan arus pasang surut terutama pada selat-selat yang kecil. Tekanan yang dihasilkan oleh air laut dapat memutar turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Seperti energi gelombang laut, Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi dalam pemanfaatan energi pasang surut air laut, namun masih dalam taraf pengembangan.

8. **Energi Panas Bumi**

   Salah satu sumber energi yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah geotermal atau panas bumi. Indonesia merupakan negara dengan sumber geotermal terbesar di dunia dengan potensi lebih dari 17.000 MW yang dapat menghemat 40 persen sumber daya panas bumi dunia.

Kondisi geologis Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama (Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik) memberikan dampak pada banyaknya sumber energi panas bumi di Indonesia. Indonesia menempati urutan keempat di dunia, bahkan dari variabel suhu tinggi, Indonesia menempati urutan kedua. Jumlah potensi energi panas bumi di Indonesia sangat besar, yaitu lebih dari 252 lokasi yang tersebar di Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Bali, Sulawesi, hingga Maluku.

## E. Sumber Energi Terbarukan dan Tak Terbarukan

Kalian telah memahami bahwa energi menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi manusia di seluruh penjuru dunia saat ini. Bagaimana cara agar kebutuhan energi dapat terpenuhi? Bagaimana cara menekan penggunaan energi listrik

yang berlebih? Untuk menyelesaikan masalah kebutuhan energi tersebut, seluruh potensi sumber energi yang ada perlu dimanfaatkan seoptimal mungkin.

Sumber energi dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu sumber energi terbarukan dan tak terbarukan.

1. **Sumber Energi Terbarukan**

   Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat digantikan oleh proses alami dalam kurun waktu yang sebanding dengan penggunaannya, sehingga tidak akan pernah dapat habis.

2. **Sumber Energi Tak Terbarukan**

   Sumber energi tak terbarukan merupakan sumber energi yang terbatas dan proses pergantiannya secara alami memerlukan waktu yang sangat lama, sehingga pada akhirnya dapat habis.

## F. Dampak Eksplorasi dan Penggunaan Energi

Selain membahas tentang bagaimana cara memenuhi kebutuhan energi bagi seluruh masyarakat, dampak eksplorasi dan eksploitasi terhadap lingkungan pun menjadi hal penting yang perlu dipikirkan.

Sumber energi yang tidak ramah lingkungan dan pengolahannya menghasilkan sisa buangan berupa karbon yang merupakan salah satu gas rumah kaca, juga harus menjadi fokus perhatian. Penggunaan energi yang kurang bijak juga dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan.



**Gambar 7.5** Eksploitasi sumber energi batu bara di Kalimantan.
*Sumber: Zevanya Suryawan/Reuters (2013)*

Kalian sudah mengetahui berbagai macam sumber energi yang ada di Indonesia. Ayo lakukan Aktivitas 7.3.



## Aktivitas 7.3 Ayo Identifikasi

Carilah informasi mengenai berbagai macam pembangkit listrik yang ada dan belum ada di Indonesia. Salinlah tabel berikut pada buku catatan kalian dan lengkapilah!

| No. | Jenis Pembangkit Listrik | Prinsip kerja* | Jenis Sumber Energi** | Keuntungan | Kekurangan atau Dampak Lingkungan | Contoh Lokasi Pembangkit Listrik |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | | | | | | |
| 2. | | | | | | |
| ... | | | | | | |

* Prinsip kerja menjelaskan peristiwa konversi energi apa yang terjadi.

** Jenis sumber energi diisi dengan pilihan energi terbarukan atau tak terbarukan.

1. Amatilah tabel yang telah kalian isi. Sumber energi apa yang paling banyak dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik di Indonesia?
2. Bagaimana dampak penggunaan sumber energi tak terbarukan bagi lingkungan?

## G. Pemanfaatan Potensi Sumber Energi Lokal sebagai Upaya Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik

Pemenuhan kebutuhan energi listrik tidak hanya menjadi tanggung jawab pemerintah atau pihak penyedia energi listrik. Dengan pengetahuan mengenai berbagai sumber energi dan pemanfaatannya, seluruh masyarakat dapat berperan serta dalam upaya pemenuhan kebutuhan energi listrik, minimal untuk pemenuhan kebutuhan listrik rumah tangganya sendiri.

Pengalaman masyarakat Desa Plaosan dapat menjadi inspirasi bagi kalian dalam pemanfaatan sumber energi di lingkungan sekitar tempat tinggal guna pemenuhan kebutuhan energi listrik masyarakatnya. Jika kalian mengamati

Gambar 7.1, Desa Plaosan terletak di kaki Gunung Argopuro dan wilayahnya berbukit-bukit dan terdapat banyak air terjun. Masyarakat Desa Plaosan berupaya memenuhi kebutuhan energi listrik di desanya dengan membangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dengan modal swadaya masyarakat.



**Gambar 7.6** Salah satu pembangkit listrik tenaga mikrohidro di Desa Plaosan, Probolinggo, Jawa Timur
*Sumber: Didin/iNewsSurabaya (2021)*

Air terjun pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Saat air jatuh ke permukaan Sungai, energi potensial tadi berubah menjadi energi kinetik. Energi kinetik ini dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Namun, alat yang dibuat sendiri oleh masyarakat tidak mampu menahan derasnya arus air sehingga selalu rusak. Tidak berputus asa, pada tahun 2019, masyarakat Desa Plaosan dan petugas desa setempat menjalin kerja sama dengan perusahaan penyedia layanan energi listrik terdekat di daerahnya, sehingga masyarakat Desa Plaosan mendapat peralatan PLTMH yang lebih memadai. PLTMH terletak di air terjun Kali Pedati dengan kapasitas 7 kW. Pembangunan PLTMH juga meluas ke desa lainnya di Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur.

Kalian telah mengetahui perjuangan masyarakat Desa Plaosan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik bagi masyarakatnya. Ayo lakukan Aktivitas 7.4.

## Aktivitas 7.4 Ayo Identifikasi

Bacalah informasi tentang masyarakat Desa Plaosan lebih lanjut pada tautan berikut ini.

Berita 1:

https://buku.kemdikbud.go.id/s/DSP

Berita 2:

https://buku.kemdikbud.go.id/s/MMD

Kembangkanlah wawasan kalian tentang masyarakat yang berupaya memenuhi kebutuhan energi listriknya. Cari dan bacalah berita-berita lain tentang pemanfaatan sumber energi lokal oleh masyarakat, kemudian jawablah pertanyaan berikut ini!

1. Berdasarkan bacaan berita, hal-hal apa saja yang menginspirasi kalian tentang pemanfaatan sumber energi lokal?
2. Berdasarkan hasil pengalaman belajar kalian tentang sumber energi terbarukan, bagaimana proses mendapatkan ide pemanfaatan sumber energi di lingkungan sekitar?
3. Amatilah kekayaan alam di daerah kalian. Apa saja potensi alam di daerah kalian yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi? Jelaskan!

Tidak hanya individu dan masyarakat, para pemimpin dunia juga melakukan berbagai upaya untuk mengatasi berbagai masalah pemenuhan kebutuhan energi bagi masyarakat. Para pemimpin dunia, termasuk Indonesia, berkumpul dan bersepakat hingga dihasilkan sebuah program yang disebut *Sustainable Development Goals* (SDGs).




**Gambar 7.7** Tujuan Pembangunan Berkelanjutan
*Sumber: dimodifikasi dari un.org/United Nations (2020)*

Program tersebut berisi rumusan tujuh belas target untuk mengatasi kemiskinan dan kesenjangan sosial, serta masalah lingkungan. Harapannya, target-target tersebut dapat dicapai pada 2030.

Salah satu program SDGs yang berkaitan dengan energi dan dampaknya pada lingkungan adalah SDG7, *affordable and clean energy*, yaitu memastikan ketersediaan energi yang ramah lingkungan bagi seluruh masyarakat. Terdapat tujuh sasaran SDG7 yang harus dicapai pada 2030, yaitu akses universal terhadap energi modern, meningkatkan persentase energi terbarukan global, menggandakan peningkatan efisiensi energi, mempromosikan akses terhadap penelitian, teknologi dan investasi dalam energi bersih, serta memperluas dan meningkatkan layanan energi bagi negara berkembang.

Memastikan ketersediaan energi bagi seluruh masyarakat sangatlah penting, terutama bagi daerah-daerah terpencil yang memiliki kendala akses terhadap energi listrik. Ketersediaan energi, terutama bagi masyarakat pedesaan, mendukung kemajuan aktivitas masyarakat pada berbagai aspek kehidupan, seperti kesehatan, pertanian, peternakan, ekonomi, dan pendidikan. Hal tersebut berpengaruh pada peningkatan kesejahteraan masyarakat, karena terjadi peningkatan produktivitas. Tidak hanya tersedia, tetapi aspek lingkungan pun perlu diperhatikan dengan menggunakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Jika kalian ingin menelusuri lebih lanjut mengenai SDGs, kalian dapat mengakses pada tautan di samping.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/SDG

## Aktivitas 7.5 Ayo Cari Tahu

### Lembar Kebiasaan dalam Penggunaan Energi

Pilihlah nilai terbaik yang dapat mendeskripsikan kebiasaan kalian dalam hal penggunaan energi pada pernyataan di bawah ini. Berilah tanda ceklis (✓) untuk jawaban yang kalian pilih.

| No. | Pertanyaan | 4 Selalu | 3 Sering | 2 Jarang | 1 Tidak Pernah |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Saya mematikan lampu sebelum meninggalkan ruangan. | | | | |
| 2. | Pada malam hari, saya tidur dengan kondisi lampu kamar mati. | | | | |
| 3. | Saya memilih untuk membeli alat elektronik yang hemat daya. | | | | |
| 4. | Saya mematikan komputer setelah selesai menggunakannya. | | | | |
| 5. | Pada malam hari, sebagian besar lampu di rumah dimatikan. | | | | |
| 6. | Saya mencoba untuk menghemat penggunaan air. | | | | |
| 7. | Saya memilih untuk jalan kaki atau bersepeda untuk pergi ke tempat yang jaraknya dekat. | | | | |
| 8 | Saya memilih untuk menggunakan kendaraan umum untuk pergi ke tempat yang jaraknya jauh. | | | | |

Jumlah skor yang didapatkan:
25–32 = Saya perlu melanjutkan kebiasaan baik untuk berhemat energi.
17–24 = Saya perlu meningkatkan lagi kebiasaan baik untuk berhemat energi.
8–16 = Saya perlu belajar membangun kebiasaan baik untuk berhemat energi.

Tuliskanlah kebiasaan baik kalian dalam hal penggunaan energi yang dapat kalian bangun setelah mempelajari materi ini.

## Lembar Sikap terhadap Penggunaan Energi

Pilihlah nilai terbaik yang dapat mendeskripsikan sikap kalian pada pernyataan di bawah ini. Berilah tanda ceklis (✓) untuk jawaban yang kalian pilih.

| No. | Pertanyaan | 4 Selalu | 3 Sering | 2 Jarang | 1 Tidak Pernah |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Materi tentang energi penting dipelajari di sekolah. | | | | |
| 2. | Saya dapat lebih berperilaku hemat energi jika saya mengetahui caranya. | | | | |
| 3. | Sangat penting untuk berperilaku hemat energi. | | | | |
| 4. | Saya tidak perlu mencemaskan penggunaan lampu, komputer, serta alat elektronik lainnya di sekolah, sebab sekolah telah membayarnya. | | | | |
| 5. | Saya tidak perlu repot-repot memikirkan penghematan energi karena teknologi baru akan lebih hemat energi. | | | | |
| 6. | Penggunaan energi terbarukan di Indonesia perlu lebih ditingkatkan. | | | | |

| No. | Pertanyaan | 4 Selalu | 3 Sering | 2 Jarang | 1 Tidak Pernah |
|---|---|---|---|---|---|
| 7. | Usaha untuk mengembangkan teknologi pengolah energi terbarukan lebih penting dibandingkan usaha mencari sumber energi fosil baru. | | | | |
| 8. | Hukum mengenai perlindungan terhadap alam perlu dilonggarkan untuk dapat memaksimalkan eksplorasi sumber energi baru. | | | | |
| 9. | Kotoran hewan di daerah peternakan perlu dimanfaatkan secara optimal untuk memproduksi lebih banyak biogas. | | | | |
| 10. | Saya yakin bahwa keputusan dan tindakan yang saya pilih terkait penggunaan energi dapat memberikan dampak terhadap penyelesaian masalah energi. | | | | |

*Sumber: Jan DeWaters/Clarkson University (2013)*



## Intisari

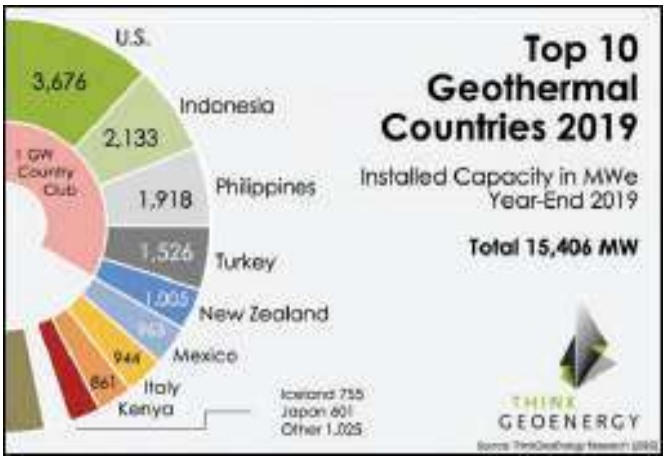
1. Energi merupakan kemampuan untuk melakukan usaha. Bentuk-bentuk energi antara lain energi kinetik, energi potensial gravitasi, kalor, dan energi listrik.
2. Konversi energi merupakan proses perubahan bentuk energi dari suatu bentuk ke bentuk energi lainnya. Pada konversi energi, berlaku hukum kekekalan energi, yaitu energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, energi hanya dapat berubah bentuk.
3. Berdasarkan ketersediaannya, sumber energi terdiri atas sumber energi terbarukan dan tak terbarukan.

a. Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat digantikan oleh proses alami dalam kurun waktu yang sebanding dengan penggunaannya, sehingga tidak akan pernah dapat habis.
b. Sumber energi tak terbarukan merupakan sumber energi yang terbatas dan proses pergantiannya secara alami memerlukan waktu yang sangat lama, sehingga pada akhirnya dapat habis.

## Ayo Cek Pemahaman

Bacalah teks berikut ini untuk pengerjaan soal nomor 1 sampai dengan 3.

### Potensi Geotermal Indonesia




**Gambar 7.8** Sepuluh negara berperingkat terbaik penghasil energi listrik terbesar dari sumber panas bumi.
*Sumber: ThinkGeo Energy Research (2020)*

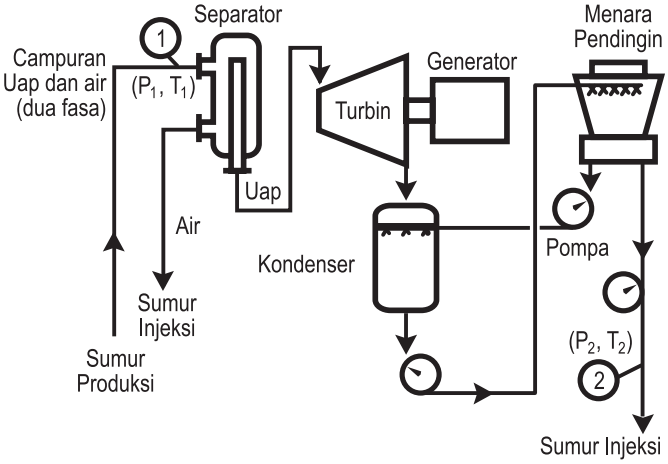
Indonesia merupakan salah satu negara yang dilalui oleh sabuk sirkum Pasifik atau yang biasa dikenal dengan istilah *ring of fire*. Ciri-ciri daerah yang dilalui oleh sabuk sirkum Pasifik adalah memiliki banyak gunung api aktif dan sering terjadi aktivitas seismik. Berdasarkan data yang dirilis pada lipi.go.id, 13% dari gunung api di dunia berada di Indonesia, yaitu sebanyak 127 gunung api dengan 58 gunung api di antaranya belum dipantau dengan peralatan seismik.



**Gambar 7.9** Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Dieng
*Sumber: Walhi Jateng (2015)*

Salah satu keuntungan yang didapatkan Indonesia sebagai negara yang dilalui sabuk sirkum Pasifik adalah banyaknya sumber panas bumi yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi. Pada akhir tahun 2019, Indonesia berhasil meraih peringkat dua dunia sebagai negara penghasil energi listrik dari sumber panas bumi. Dilansir dari *bekasi.pikiran-rakyat.com*, energi panas bumi yang telah dimanfaatkan baru 8,9% dari seluruh potensi panas bumi yang ada di Indonesia.

Bagaimana cara mengelola sumber panas bumi menjadi energi listrik? Cara kerja pembangkit listrik tenaga panas bumi ditunjukkan pada Gambar 7.10 berikut.




**Gambar 7.10** Skema Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
*Sumber: Agus Purnomo Adi (2014)*

Zat cair dan uap panas dari sumur produksi dialirkan menuju alat separator. Tujuannya untuk memisahkan uap panas dengan zat cair yang keluar dari sumur produksi. Zat cair tersebut dikeluarkan dari separator, sementara uap panas dialirkan menuju turbin. Uap panas tersebut memutar turbin yang dihubungkan dengan generator. Generator merupakan alat pengubah energi gerak menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh generator pembangkit dialirkan hingga dapat digunakan oleh masyarakat.

Setelah melewati turbin, uap panas dialirkan menuju menara pendingin untuk didinginkan. Di sini, uap panas mengalami kondensasi menjadi air. Air kemudian dialirkan kembali pada sumur produksi.

Berdasarkan teks di atas, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini!

1. Tentukanlah pernyataan berikut benar atau salah!

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Terdapat sekitar 977 gunung api di dunia. | | |
| Sekitar 46% gunung api di Indonesia sudah dipantau dengan peralatan seismik. | | |
| Prinsip kerja generator pembangkit listrik tenaga panas bumi sama dengan prinsip kerja dinamo mobil mainan yang menggunakan baterai untuk memutar roda. | | |
| Indonesia memiliki potensi geotermal sekitar 23.966 MW. | | |

2. Pada teks tersebut, penulis menyatakan bahwa "ciri-ciri daerah yang dilalui oleh sabuk sirkum Pasifik adalah memiliki banyak gunung api aktif dan sering terjadi aktivitas seismik". Pesan yang ingin disampaikan penulis pada pembaca melalui pernyataan tersebut adalah ....

| | |
|---|---|
| ☐ | Daerah yang dilalui oleh sabuk sirkum Pasifik tidak layak dihuni. |
| ☐ | Begitu banyaknya gunung api di daerah sabuk sirkum Pasifik. |
| ☐ | Masyarakat Indonesia harus lebih waspada terhadap potensi bencana alam yang mungkin terjadi. |
| ☐ | Gempa bumi tidak akan mungkin terjadi di daerah yang tidak dilalui oleh sabuk sirkum Pasifik. |

3. Berdasarkan skema Gambar 7.10 dan penjelasan pada teks, alat-alat apa saja yang perlu disediakan pada pembangkit listrik tenaga panas bumi agar menghasilkan energi listrik?

## Pengayaan

Kalian sudah mengetahui pentingnya sumber energi yang mudah diakses oleh masyarakat dan ramah lingkungan. Mari lakukan proyek berikut ini.

Carilah ide sumber energi yang dapat dimanfaatkan di sekitar kalian. Berikut ini merupakan contoh sumber ide proyek sederhana yang dapat kalian jadikan referensi.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/EP

https://buku.kemdikbud.go.id/s/RPR

**Tahap Awal**

1. Adakah sesuatu yang dapat kalian jadikan sebagai sumber energi sederhana? Hasil akhir tidak harus menjadi energi listrik, bisa juga menjadi bentuk energi lain yang dapat menekan penggunaan energi listrik.
2. Adakah alat yang dibutuhkan untuk mengelola sumber energi tersebut?
   a. Buatlah daftar alat dan bahan yang dibutuhkan untuk membuatnya (tidak harus jadi alat yang sebenarnya, bisa juga prototipe).
   b. Tuliskan langkah-langkah cara membuatnya.
   c. Gambarkanlah desain alat yang dibuat.
3. Bagaimana prinsip kerja alat tersebut? Konsep fisika apa yang kalian butuhkan dalam alat tersebut? Tuliskanlah teorinya dan jelaskan bagaimana konsep fisika tersebut diterapkan pada alat yang kalian buat!

4. Bentuk konversi energi apa yang terjadi pada alat tersebut?
5. Bagaimana energi dapat dihasilkan dari alat atau bahan tersebut?
6. Dapatkah energi masukan dan energi yang dihasilkan oleh alat tersebut dapat diketahui? Bagaimana caranya?
7. Adakah dampak dari alat yang kalian rancang? Kalian dapat meninjaunya dari berbagai aspek, misalnya lingkungan, sosial, dan ekonomi.

**Tahap Uji Coba**

Pertanyaan ini diisi ketika alat atau prototipe sudah selesai dibuat.

1. Kesulitan apa yang kalian alami selama proses pembuatan?
2. Apakah kerja alat sudah berfungsi sesuai dengan harapan? Jelaskan!
3. Hal-hal apa saja yang masih perlu diperbaiki atau dimodifikasi kembali dari alat yang kalian buat?
4. Gambarkan rancangan perbaikan alat atau prototipenya!

**Tahap Akhir**

Pertanyaan ini diisi ketika alat atau prototipe sudah diperbaiki

1. Tuliskan hal apa saja yang sudah diperbaiki!
2. Apakah kerja alat sudah berfungsi sesuai dengan yang diharapkan? Jelaskan!
3. Tuliskan beberapa keterbatasan yang masih ada pada alat atau prototipe yang kalian buat!
4. Berikanlah saran-saran agar alat tersebut dapat bekerja lebih baik!

## Ayo Berefleksi

Setelah kalian mempelajari bab ini, peranan, manfaat, atau pembelajaran apa yang dapat kalian ambil? Tuliskan pada buku latihan kalian!

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI REPUBLIK INDONESIA, 2023**
Ilmu Pengetahuan Alam untuk SMA/MA Kelas X (Edisi Revisi)
Penulis : Niken Resminingpuri Krisdianti, Elizabeth Tjahjadarmawan, Ayuk Ratna Puspaningsih
ISBN : 978-623-118-461-0 (jil.1 PDF)



*Sumber: freepik/freepik.com (2023)*

# Bab VIII

# Perubahan Iklim

■ Bagaimana kondisi iklim yang kalian pikirkan dalam beberapa tahun terakhir ini?

## Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini, kalian berperan sebagai *observer* sekaligus *problem solver* untuk menganalisis penyebab, dampak, dan menawarkan solusi untuk mengatasi perubahan iklim.

## Peta Konsep




## Kata Kunci

- kenaikan kadar $CO_2$
- efek rumah kaca
- kenaikan suhu bumi
- pemanasan global
- perubahan iklim



(a)



(b)

**Gambar 8.1** Bencana Akibat Perubahan Iklim (a) Banjir di Kabupaten Lamandau, Kalimantan Tengah, (b) Kekeringan di Kabupaten Bekasi
*Sumber: (a) BPBD Kabupaten Lamandau (2020), (b) Indra/radarbekasi.id (2023)*

Pada tahun 2022, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menyatakan bahwa Indonesia mengalami fenomena La Nina "*triple dip*". Fenomena ini memengaruhi pola cuaca dan iklim di Indonesia, sehingga Indonesia mengalami musim hujan terus-menerus selama tiga tahun berturut-turut. Akibat fenomena La Nina, selama kurang lebih tiga tahun, Indonesia mengalami banyak bencana hidrometeorologi, seperti tanah longsor, banjir, dan lain-lain.

Pada sekitar periode Maret 2023, fase La Nina beralih menuju fase netral, sehingga intensitas hujan berangsur menurun. Keadaan fase netral bertahan hingga awal Juli, kemudian beralih ke fase El Nino. Fenomena El Nino menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau yang panjang. BMKG memperkirakan bahwa fenomena El Nino berakhir pada bulan Februari–Maret 2024.

Fenomena iklim tersebut berdampak bagi masyarakat. Sebagai contoh pada sektor pertanian, periode musim hujan yang berkepanjangan selama tiga periode berturut-turut menyebabkan gagal panen akibat lahan pertanian kebanjiran. Sebaliknya, fenomena El Nino menyebabkan kekeringan dalam periode yang panjang sehingga komoditas pertanian mengalami gagal panen akibat kekurangan air.

Fenomena pergeseran musim ini telah nyata dialami oleh masyarakat Indonesia sejak tahun 2020 hingga 2023. Sebagai bagian dari masyarakat Indonesia, bagaimana cara kalian menyikapi peristiwa perubahan iklim yang melanda Indonesia? Kalian akan menemukan jawabannya dalam bab ini.

Perhatikan pernyataan ini; "Akibat fenomena La Nina, selama kurang lebih tiga tahun, Indonesia mengalami banyak bencana hidrometeorologi, seperti tanah longsor, banjir, dan lain-lain". Sebagai pelajar, dapatkah kalian memberi penjelasan bagaimana pernyataan ini dapat dijelaskan?

## A. Perubahan Iklim

Pernahkah kalian mengamati bahwa periode dan lamanya musim hujan dari tahun ke tahun tidak selalu sama? Apakah kalian merasa suhu lingkungan tempat tinggal kalian tidak sesejuk dulu? Menurut Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB), perubahan suhu dan pola cuaca dalam jangka panjang disebut sebagai perubahan iklim. Iklim telah menjadi parameter penting dalam kehidupan seluruh makhluk hidup yang ada di bumi. Iklim merupakan pola cuaca dan keadaan atmosfer (tekanan udara, curah hujan, suhu, angin, dan lain-lain) pada luasan daerah tertentu dalam jangka waktu tertentu.

Pengetahuan masyarakat mengenai iklim sangat bermanfaat dalam berbagai bidang kehidupan. Misalnya pada bidang pertanian, petani memanfaatkan pengetahuannya tentang iklim untuk menentukan kapan harus menanam dan jenis tanaman apa yang bisa dapat ditanam. Perubahan iklim mengakibatkan dampak berantai bagi masyarakat, sehingga isu mengenai perubahan iklim sangat penting dan menjadi tanggung jawab masyarakat global.

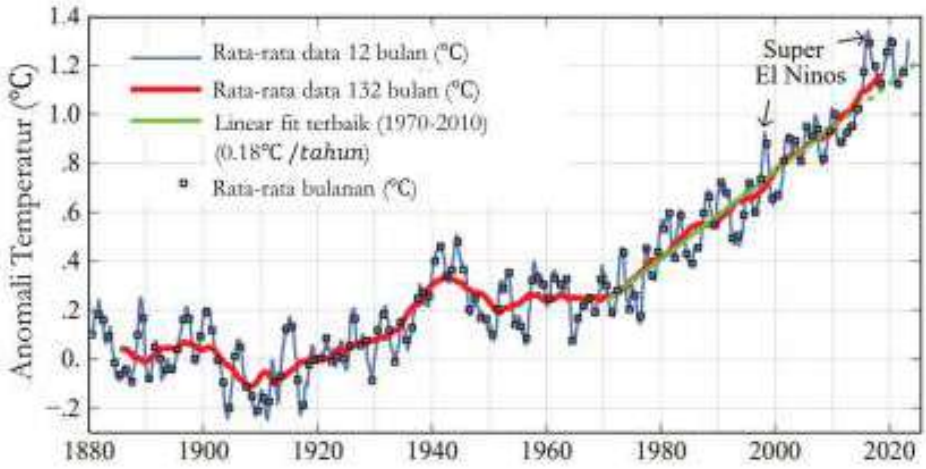
## B. Gejala Perubahan Iklim

Apa buktinya bahwa saat ini telah terjadi perubahan iklim? Mari telusuri fakta-fakta berikut ini.

### 1. Peningkatan Suhu Rata-Rata Permukaan Bumi

Berdasarkan analisis data yang dihimpun oleh para ilmuwan di Institut Goddard NASA untuk Studi Luar Angkasa (GISS) yang ditunjukkan pada Gambar 8.2, bumi telah mengalami peningkatan suhu global rata-rata lebih dari 1°C sejak 1880. Kenaikan suhu 1 derajat saja akan memiliki dampak yang sangat signifikan pada bumi. Badan Meteorologi Dunia (WMO) memprediksi kenaikan suhu udara hingga 1,5°C pada 2024. Padahal pada Konferensi Perubahan Iklim PBB yang

dilaksanakan pada 12 Desember 2015, di Paris, Perancis, berbagai pihak yang terlibat pada konferensi tersebut telah menyepakati untuk menjaga kenaikan suhu rata-rata global tetap terkendali dengan nilai di bawah 1,5°C. Kesepakatan tersebut dikenal sebagai Perjanjian Paris.

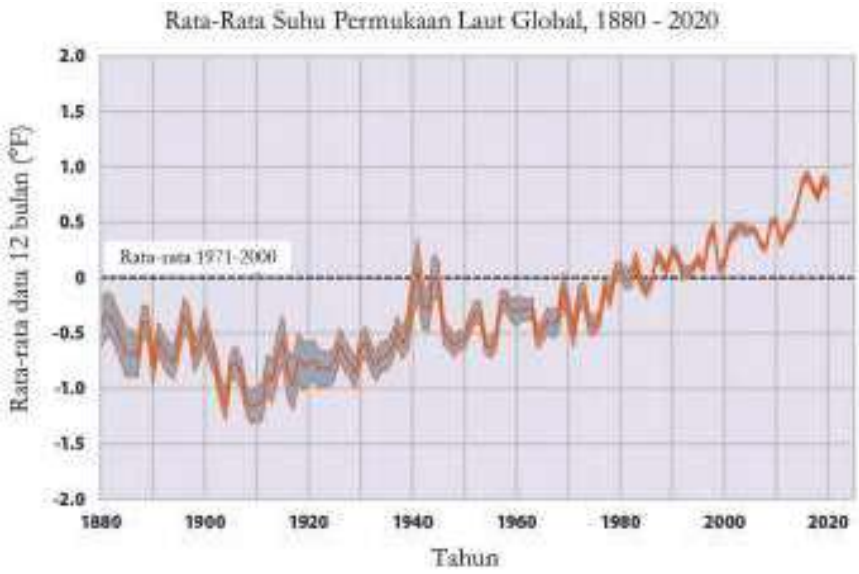



**Gambar 8.2** Grafik Rata-Rata Suhu Permukaan Bumi
*Sumber: Makiko Sato/data.giss.nasa.gov (2023)*

Peningkatan suhu sebesar 1°C dapat mengakibatkan berbagai masalah, seperti kekeringan, curah hujan lebat akibat siklon tropis, ketersediaan air bersih berkurang, punahnya spesies yang sensitif terhadap perubahan suhu, pergeseran bioma, banjir rob dan erosi, dan lain-lain. Para ilmuwan menyebutkan bahwa salah satu dampak signifikannya adalah kebakaran hutan yang melanda Amerika dan gelombang panas drastis yang menerjang India dan Pakistan.

## 2. Peningkatan Suhu Permukaan Air Laut

Berdasarkan data yang dirilis oleh National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), suhu samudra secara global mengalami peningkatan sebesar 0,02°C pada Agustus 2019. Berdasarkan Gambar 8.3, diketahui bahwa laju kenaikan suhu rata-rata sebesar 0,14°C tiap dekade sejak tahun 1901 hingga 2020. Kenaikan suhu air laut akan memengaruhi ekosistem laut. Makhluk hidup yang hidup di laut sangat sensitif terhadap perubahan suhu. Terumbu karang misalnya, akan mengalami pemutihan dan berdampak pada punahnya habitat ikan-ikan karang.




**Gambar 8.3** Grafik Rata-Rata Suhu Permukaan Laut Global, 1880–2020
*Sumber: NOAA/www.epa.gov (2021)*

## 3. Pencairan Luasan Es Permukaan Bumi dan Kenaikan Permukaan Air Laut

Mungkin kalian menganggap bahwa kutub bumi dan pegunungan es jauh dari Indonesia dan tidak memiliki pengaruh terhadap Indonesia. Memang bagi masyarakat yang hidup di sekitar kutub dan pegunungan es mengalami dampak secara langsung, seperti banjir dan longsor di pegunungan es serta kurangnya kebutuhan air bersih di sekitar gletser. Tetapi, bagi masyarakat yang tinggal di Indonesia, dampaknya tidak dirasakan secara langsung. Banyak ancaman yang membayangi masyarakat Indonesia akibat pencairan es di kutub dan pegunungan es, misalnya tenggelamnya pulau-pulau kecil dan banjir rob.

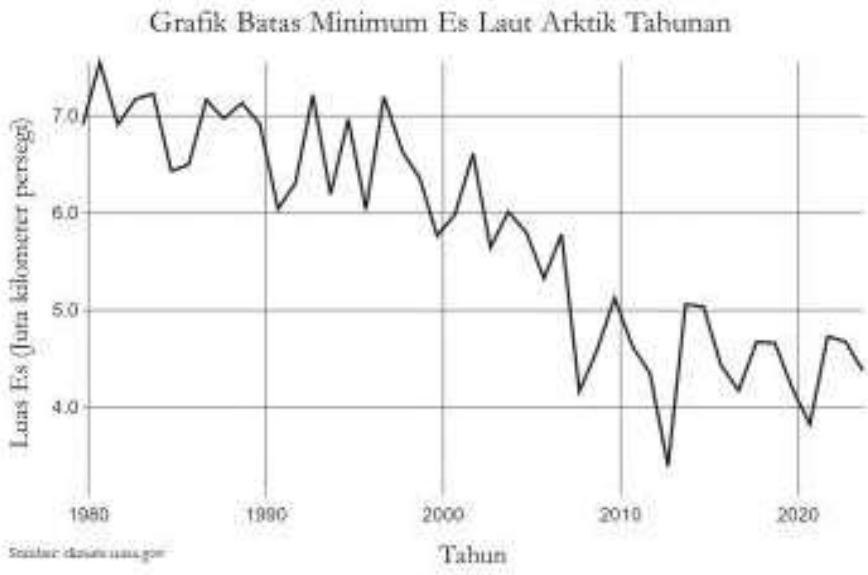
### Mengapa dikatakan pengurangan luasan es permukaan bumi?

Bumi memiliki tempat-tempat yang terdapat hamparan es. Hamparan es laut dapat ditemukan di Samudra Arktik (bagian kutub utara bumi) dan Antartika (bagian kutub selatan bumi). Gunung-gunung dengan puncak tinggi juga memiliki hamparan es, seperti pegunungan Himalaya dan Alpen. Di Indonesia juga memiliki pegunungan Jayawijaya, Papua, yang merupakan satu-satunya tempat di wilayah Indonesia yang diselimuti lapisan salju.

Parameter luasan es diukur dengan citra satelit dan diolah datanya sedemikian rupa. Hasil citra dari luar angkasa menunjukkan hamparan es bumi tampak berwarna putih cerah. Warna putih mampu memantulkan gelombang atau panas dengan baik, hamparan putih es tersebut bermanfaat untuk memantulkan kembali panas berlebih menuju ke luar angkasa. Dengan sistem seperti itu, hamparan es turut berperan penting untuk menjaga suhu bumi agar konstan. Oleh karena itu, berkurangnya hamparan es bumi dapat memperburuk kondisi peningkatan suhu permukaan bumi.

Luasan hamparan es atau gletser merupakan objek yang paling rentan terhadap perubahan suhu permukaan bumi. Pengaruh perubahan suhu bumi dapat dilihat secara langsung pada kasus pencairan gletser es pegunungan dan daratan es kutub. Contoh kasus pencairan gletser terjadi di pegunungan Jayawijaya, Papua. Berdasarkan laporan BMKG pada tahun 2023, hamparan es seluas 200 kilometer persegi, kini hanya tersisa satu persennya saja. Jika kondisi ini terus berlanjut, gletser es dikhawatirkan hilang dalam jangka waktu tiga tahun ke depan.

Berikut ini merupakan contoh kasus penurunan luasan hamparan es yang terjadi pada es Laut Arktik.




**Gambar 8.4** Grafik Batas Minimum Es Laut Arktik Tahunan
*Sumber: NASA/climate.nasa.gov (2022)*

Berdasarkan data observasi satelit yang dihimpun NASA seperti ditunjukkan pada Gambar 8.4, es Laut Arktik mengalami laju penyusutan sebesar 12,2% per dekade pada musim panas, karena suhu lingkungan yang lebih hangat.



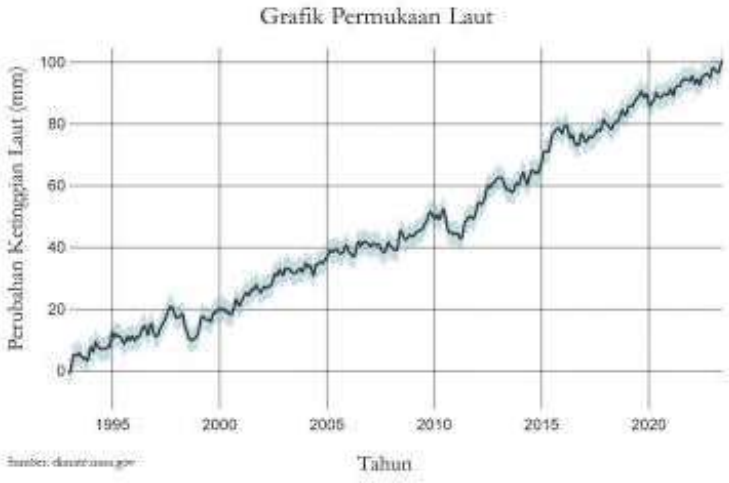

**Gambar 8.5** Perubahan Luasan Arktik 1978–2016
*Sumber: NASA/earthobservatory.nasa.gov (2022)*

Gambar 8.5 adalah perbandingan foto hasil citra satelit dalam periode lima tahunan. Luasan Arktik yang diberi warna putih merupakan luasan awal pengamatan pertama NASA menggunakan satelit pada tahun 1978. Luasan Arktik yang diberi warna biru muda merupakan penyusutan luasan Arktik tahun 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, dan 2016. Pada gambar paling kanan juga tampak batasan daratan es rata-rata (garis oranye) antara periode 1981–2010, telah menyusut begitu signifikan pada Desember 2013. Diketahui bahwa terjadi pengurangan luasan daratan es akibat peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi.

**Lalu, bagaimana dengan kenaikan permukaan air laut?**

Parameter kenaikan muka air laut adalah ketinggian permukaan air laut. Alat ukur peningkatan permukaan air laut dipasang di pelampung dan kapal, satelit, dan lain-lain.

Salah satu contoh kenaikan permukaan air laut terukur di Semarang. Berdasarkan studi kasus berdasarkan data Satelit Altimetri Jason-1 pada tahun pengamatan 2009 hingga 2011, permukaan air laut Kota Semarang mengalami laju peningkatan sebesar 12,83 mm per tahun. Hal ini diperburuk dengan terjadinya laju penurunan permukaan tanah pada kisaran 8 hingga 13 cm per tahun.




**Gambar 8.6** Grafik Variasi Level Permukaan Laut
*Sumber: NASA/climate.nasa.gov (2023)*

Menurut data yang dirilis di climate.nasa.gov, kenaikan permukaan air laut secara global meningkat sebesar 97 mm dengan rata-rata 3,3 mm per tahun. Dampak peningkatan ketinggian permukaan air laut ini akan sangat dirasakan bagi masyarakat Indonesia yang tinggal di pesisir laut. Bencana banjir rob dan kenaikan permukaan air yang lebih tinggi saat pasang akan sering terjadi.

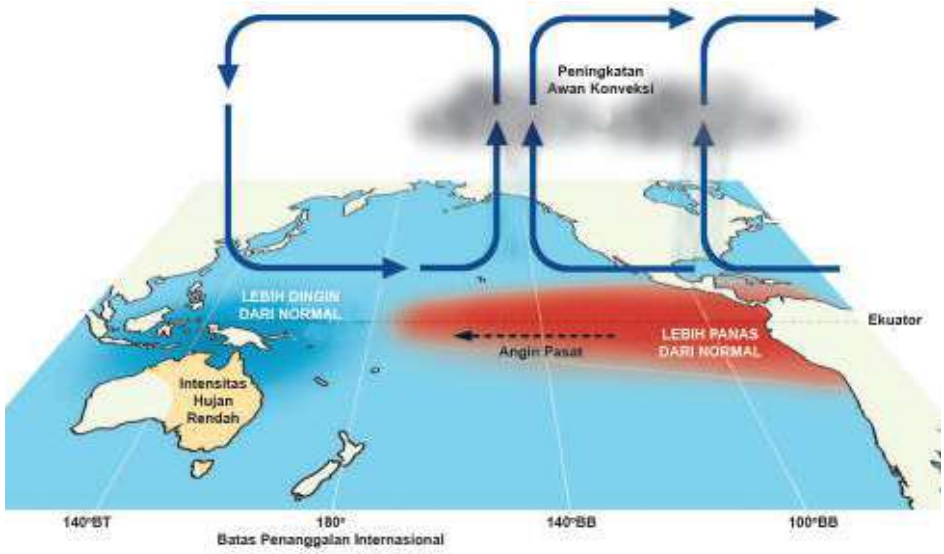
## 4. Perubahan Pola Cuaca Ekstrem

Pada akhir Oktober 2020, curah hujan di wilayah Indonesia begitu tinggi. BMKG mengaitkan peningkatan potensi curah hujan sebesar 20% sampai dengan 40% akibat fenomena La Nina. Sementara pada Juli 2023, Indonesia diperkirakan akan mengalami musim kemarau yang panjang hingga Februari–Maret 2024. Fenomena tersebut disebut sebagai fenomena El Nino.

Apa itu fenomena La Nina dan El Nino yang disebutkan oleh BMKG? Apa hubungannya dengan apa yang terjadi di Indonesia? Apa hubungan antara peningkatan suhu permukaan laut dengan fenomena cuaca ekstrem di Indonesia? Pada climate.gov, dijelaskan bahwa *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) merupakan fenomena iklim di mana sirkulasi atmosfer global berubah akibat suhu perubahan suhu permukaan air laut. Intensitas peristiwa ENSO yang sering dengan periode yang panjang mengindikasikan adanya pola cuaca ekstrem. ENSO memiliki dua fase yang berlawanan dan satu fase tambahan, yaitu El Nino, La Nina, dan netral.

### a. El Nino

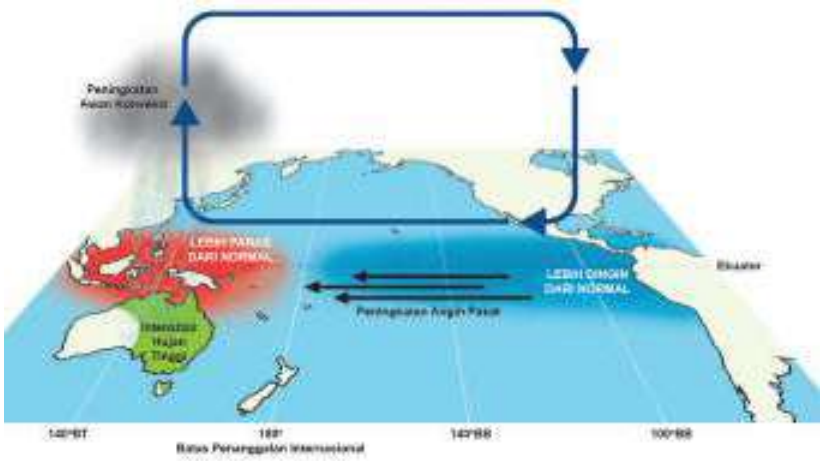
Peristiwa El Nino merupakan peristiwa meningkatnya suhu permukaan laut Samudra Pasifik tropis bagian timur dan tengah di atas rata-rata normal suhu permukaan laut. Secara umum, peristiwa El Nino menyebabkan penurunan suhu permukaan air laut di perairan wilayah Indonesia, sehingga proses pembentukan awan berkurang dan curah hujan menurun sehingga wilayah Indonesia mengalami kekeringan. Sementara di Samudra Pasifik tropis, curah hujan meningkat. Angin permukaan tingkat rendah yang biasanya bertiup dari timur ke barat (angin timur) di sepanjang ekuator mengalami penyimpangan arah, sehingga angin bertiup dari barat ke timur (angin barat).




**Gambar 8.7** Peristiwa El Nino
*Sumber: Geo Factsheet/curriculum-press.co.uk (2017)*

### b. La Nina

Peristiwa La Nina merupakan peristiwa menurunnya suhu permukaan laut Samudra Pasifik tropis bagian timur dan tengah di bawah rata-rata normal suhu permukaan laut. Pengaruh peristiwa La Nina di wilayah Indonesia adalah curah hujan cenderung meningkat dan membuat cuaca pada musim kemarau Indonesia menjadi lebih basah. Sementara di Samudera Pasifik tropis, curah hujan menurun. Angin timur laut yang normal di sepanjang ekuator menjadi lebih kuat.

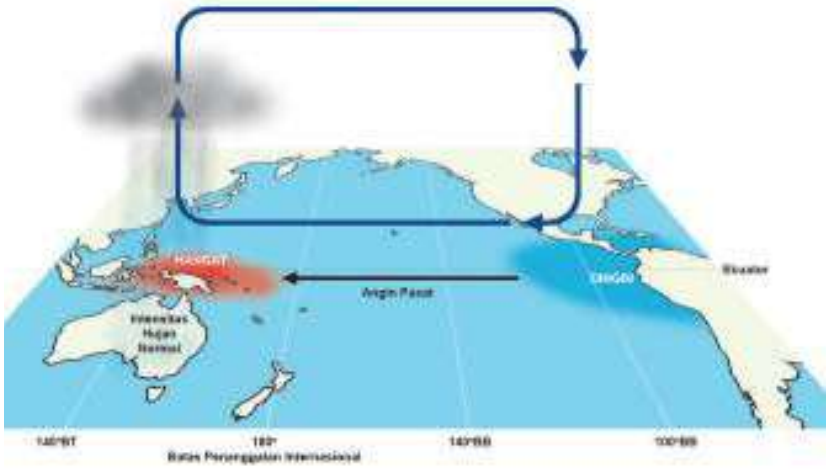



**Gambar 8.8** Peristiwa La Nina

*Sumber: Geo Factsheet/curriculum-press.co.uk (2017)*

### c. Netral

Kondisi netral ini bukan merupakan keadaan El Nino atau La Nina. Kondisi ini terjadi ketika suhu permukaan laut Samudra Pasifik tropis umumnya mendekati rata-rata.




**Gambar 8.9** Kondisi netral

*Sumber: Geo Factsheet/curriculum-press.co.uk (2017)*

Kalian telah mempelajari tentang berbagai gejala perubahan iklim yang terjadi di dunia. Untuk mengetahui apa saja perubahan lingkungan yang terjadi pada daerah kalian, mari melakukan Proyek Tahap 1 berikut.

## Proyek Tahap 1

**Ayo Mengobservasi dan Mencari Data**

Lakukanlah observasi di lingkungan sekitar kalian. Bagi yang berlokasi di sekitar pantai, amatilah dan lakukan wawancara tentang perubahan garis pantai yang semakin lama semakin menjorok ke dalam, sedangkan bagi yang lokasinya jauh dari pantai perhatikan pergeseran musim dan perubahan lamanya musim hujan dan kemarau. Kalian juga dapat melakukan observasi perubahan siklus hidup atau reproduksi hewan dan tumbuhan tertentu yang ada di sekitar kalian.

Lakukanlah pencarian data ke BMKG tentang rata-rata suhu tahunan dan rata-rata curah hujan tahunan di daerahmu selama 10 tahun terakhir. Jika tidak memungkinkan untuk berkunjung, kalian dapat melakukan wawancara secara daring ataupun melalui telepon dengan salah satu petugas BMKG. Kalian juga dapat mencari informasi melalui internet tentang data tersebut pada tautan di samping. Tampilkan data yang telah kalian temukan dalam bentuk grafik.

https://buku.kemdikbud.go.id/s/TS

Kaitkanlah hubungan antara hasil observasi dengan grafik data suhu rata-rata dan curah hujan rata-rata tahunan yang kalian dapatkan.

## C. Dampak Perubahan Iklim

Banyak sekali efek perubahan iklim terhadap lingkungan sekitar. Perubahan iklim memunculkan cuaca yang ekstrem. Seperti yang telah dijelaskan pada bahasan perubahan pola cuaca ekstrem, peristiwa El Nino menyebabkan kekeringan pada beberapa wilayah di Indonesia. Kekeringan yang berkepanjangan akan memicu terjadinya kebakaran hutan dan lahan gambut, berkurangnya ketersediaan air bersih bagi masyarakat, dan mudah tersebarnya berbagai penyakit. Peristiwa kebakaran hutan dan lahan gambut terjadi di Palangkaraya, Ketapang, dan wilayah lain. Peristiwa kebakaran hutan dan lahan gambut menghasilkan polusi udara berupa asap. Asap dapat meningkatkan risiko ISPA pada masyarakat di sekitar lokasi kebakaran.

Pada sektor pertanian, peristiwa El Nino dapat menyebabkan kerugian ekonomi terutama sektor pertanian, misalnya perubahan pola periode musim. Kekeringan yang berkepanjangan dapat menyebabkan suplai air yang terbatas sehingga petani akan kesulitan bercocok tanam. Suhu yang tinggi juga dapat merusak tanaman akibat dehidrasi dan kekeringan.



**Gambar 8.10** Kebakaran hutan di Kalimantan akibat suhu panas berkepanjangan.
*Sumber: Aulya Rahman/Antara (2023)*

Kebalikannya, peristiwa La Nina menyebabkan peningkatan curah hujan dan badai yang destruktif sehingga berpotensi terjadinya bencana hidrometeorologi. Hujan yang berkepanjangan dengan kuantitas air yang tinggi menyebabkan daratan tidak mampu menyerap kelebihan air dan menimbulkan banjir. Bencana alam seperti ini akan memicu kerusakan infrastruktur, pemukiman penduduk, dan hilang atau rusaknya harta benda. Selain itu, banjir dapat meningkatkan risiko tertularnya penyakit pada manusia, seperti diare, hepatitis A, kolera, disentri, berbagai penyakit kulit, dan cacingan.

Pada sektor pertanian, peristiwa El Nino menyebabkan rusaknya tanaman akibat busuk dan terendam oleh air. Kondisi ini diperparah dengan meningkatnya hama yang menyerang tanaman pertanian. Ketika curah hujan tinggi melanda beberapa hama dapat berkembang biak dengan cepat, seperti siput. Hal-hal tersebut tentunya akan memengaruhi produktivitas tanaman. Tanaman tidak tumbuh dengan optimal yang berdampak pada hasil produksi pertanian. Menurunnya hasil produksi pertanian, selain memunculkan kelangkaan pangan, juga akan memengaruhi harga pasar dan berdampak pada perekonomian.

Selain musibah dan bencana akibat cuaca ekstrem, perubahan iklim juga menyebabkan pada perubahan ekosistem dan kerugian keanekaragaman hayati. Ekosistem laut merupakan ekosistem yang paling sensitif terhadap peningkatan suhu. Pemanasan ini terjadi hingga kedalaman 700 meter dari permukaan laut. Berdasarkan pembagian zona lautan, wilayah kedalaman tersebut merupakan wilayah yang paling tinggi keanekaragaman hayatinya.

Suhu perairan berpengaruh pada karang. Meningkatnya suhu perairan menyebabkan karang mengalami pemutihan (*bleaching*), sehingga karang sulit tumbuh dan rentan penyakit, bahkan berujung pada kematian massal. Seperti yang telah kita ketahui bahwa karang merupakan habitat berbagai biota laut. Ketika karang mengalami kerusakan berarti kehidupan biota laut lainnya menjadi terancam.



(a) (b) (c)

**Gambar 8.11** Makhluk Hidup yang Bergantung pada Suhu Permukaan Air Laut: (a) penyu, (b) udang Krill, (c) Terumbu Karang

*Sumber: (a) P.Lindgren/commons.wikimedia.org (2013) (b) Uwe Kils/commons.wikimedia.org (2011) (c) Burhan Herjah/ commons.wikimedia.org (2020)*

Beberapa spesies memiliki siklus hidup dan proses reproduksi yang dipengaruhi oleh suhu, contohnya udang krill. Udang ini bereproduksi dalam jumlah yang sedikit jika suhu perairan meningkat. Begitu pula penyu, jenis kelamin anakan penyu dipengaruhi suhu. Jika suhu perairan hangat maka anakan penyu dominan betina, sedangkan jika perairan dingin maka anakan penyu dominan jantan. Dengan demikian, peningkatan suhu dapat memengaruhi populasi organisme laut dan bahkan dapat menyebabkan kepunahan.

Selain itu, peningkatan suhu berpengaruh pada penyebaran spesies dan penyakit laut. Pada wilayah tertentu, bakteri akan meningkat jumlahnya sehingga mengurangi kadar oksigen di wilayah tersebut. Hal ini mengakibatkan organisme lainnya bermigrasi ke tempat lainnya dan bisa berujung pada kematian.

Selain ekosistem laut, ekosistem di daratan juga terancam. Perubahan kondisi gletser es di kutub dapat memengaruhi keberlangsungan hidup makhluk hidup yang hidup di daerah tersebut. Makhluk hidup selalu berusaha melakukan adaptasi terhadap perubahan kondisi habitatnya. Akan tetapi, tidak semua makhluk hidup dapat melakukan adaptasi terhadap perubahan kondisi habitatnya.

Salah satu hewan yang tinggal di daerah kutub dan terdampak perubahan kondisi gletser es adalah beruang kutub. Beruang kutub terpaksa mencari makanan di daratan akibat es di atas lautan banyak yang telah mencair. Berkurangnya wilayah tempat berburu beruang kutub tentunya mempersempit peluang beruang kutub bertahan hidup. Jika hal ini terus terjadi secara terus-menerus maka beruang kutub bisa mengalami kepunahan.

Salju yang menutupi permukaan tanah berperan sebagai isolator, sehingga tanah tetap hangat dan nutrisi dapat diserap oleh tanaman. Di sisi lain, pada daerah yang perubahan musim kemaraunya panjang, mengakibatkan intensitas kebakaran hutan meningkat. Banyak tumbuhan mengalami kekeringan akibat kekurangan air akan berdampak pada penurunan populasi tumbuhan, bahkan punahnya beberapa spesies tanaman.

Perubahan iklim dapat meningkatkan kasus terjangkitnya penyakit pada manusia, terutama penyakit-penyakit yang dibawa oleh vektor. Vektor penyakit seperti nyamuk mengalami perubahan waktu siklus hidup. Serangga sangat sensitif terhadap perubahan suhu. Siklus hidupnya menjadi pendek dan dapat mengubah distribusinya. Hal inilah yang menyebabkan peningkatan kasus penyakit demam berdarah dan malaria dan terjadi pergeseran distribusi penyakitnya.

Sistem imun manusia dapat menurun akibat perubahan iklim. Perubahan suhu yang drastis dari dingin ke panas atau sebaliknya menyebabkan manusia mudah terserang penyakit. Selain itu, panas yang berkepanjangan dapat menyebabkan dehidrasi yang akan menyebabkan lemah sistem imun. Lemahnya sistem imun tentu akan mempermudah manusia terserang penyakit.

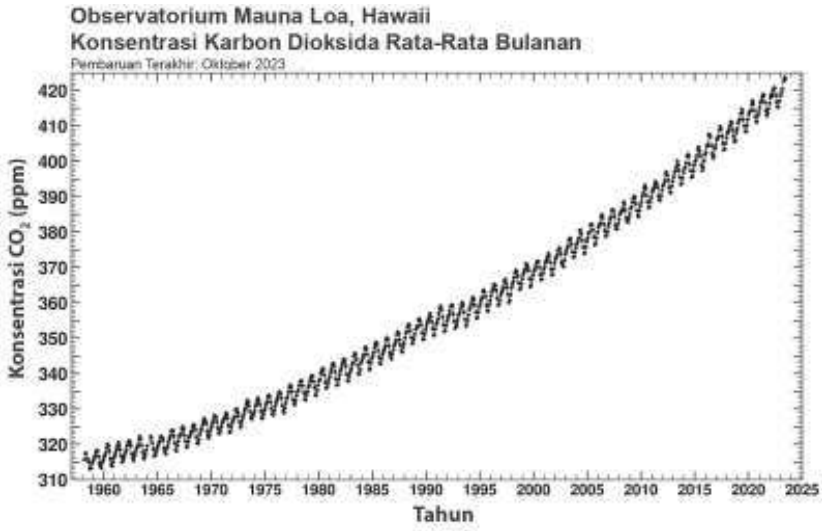
Perilaku manusia yang berubah akibat perubahan iklim juga dapat meningkatkan risiko terserang penyakit, seperti ISPA. Akibat suhu yang panas, manusia lebih cenderung memilih tinggal di dalam ruangan dengan menggunakan pendingin ruangan. Hal ini menyebabkan tingginya kebutuhan listrik dan tentunya akan meningkatkan penggunaan bahan bakar fosil yang berujung pada polusi udara.

## D. Penyebab Perubahan Iklim

Ditinjau dari aspek kimia, peningkatan kadar $CO_2$ menjadi salah satu penyebab perubahan iklim.

### 1. Peningkatan Kadar $CO_2$

Peningkatan kadar $CO_2$ di atmosfer telah dicatat sejak tahun 1958 oleh ilmuwan bernama Charles David Keeling. Selanjutnya, para ilmuwan melacak data akumulasi $CO_2$ di atmosfer bumi menggunakan kurva Keeling (Gambar 8.12). Data kenaikan kadar $CO_2$ diukur terus-menerus dari Observatorium Mauna Loa di Hawaii.




**Gambar 8.12** Kadar peningkatan $CO_2$
*Sumber: Scripps Institution of Oceanography UC San Diego (2023)*

Peningkatan kadar $CO_2$ dari waktu ke waktu terus terjadi sejak zaman eosen, yaitu periode dalam skala geologi yang terjadi sekitar 40–60 juta tahun yang lalu. Hal ini penting dipelajari dalam sejarah catatan $CO_2$ yang memberi bukti kuat hubungan antara tingkat $CO_2$ dan keadaan iklim yang menghangat. Dengan mempelajari perubahan iklim bumi di masa lalu maka pemanasan global di masa yang akan datang dapat diprediksi dengan lebih baik.

Kadar $CO_2$ pada tahun 1960 tercatat 315 ppm. Namun, angka ini naik teratur hingga pada Oktober 2023 kadar $CO_2$ mencapai angka 418,82 ppm.

**Apa itu ppm?**

Tahukah kalian bahwa ppm adalah salah satu satuan konsentrasi zat. Ppm atau *part per million* menyatakan 1 bagian zat dalam 1 juta bagian campuran. Jika kadar $CO_2$ adalah 418,82 ppm, artinya adalah terdapat 418,82 mg $CO_2$ dalam 1 juta mg atau 1 kg udara.

Menurut kalian, bagaimana konsentrasi $CO_2$ pada tahun 2050? Apa yang akan terjadi jika konsentrasi gas $CO_2$ terus meningkat?

Kandungan $CO_2$ di atmosfer adalah hasil aktivitas manusia yang sebagian besar berasal dari penggunaan bahan bakar fosil, baik untuk kegiatan industri maupun berkendara. Bahan bakar mengalami reaksi pembakaran. Gas $CO_2$ hasil pembakaran diemisikan ke atmosfer sekitar 57%, sedangkan sisanya masuk ke laut dan terserap oleh reaksi fotosintesis, Ingatlah bahwa hukum Lavoisier berlaku untuk keadaan ini. Jumlah atom karbon selalu sama, baik dalam bentuk $CO_2$ di udara maupun dalam bentuk senyawa lainnya di luar emisi $CO_2$. Oleh karena itu, emisi $CO_2$ di udara harus dikurangi.

## 2. Anomali Efek Rumah Kaca

### a. Mekanisme terjadinya efek rumah kaca dalam kondisi normal

Apakah kalian pernah mendengar istilah rumah kaca? Dari berbagai sumber informasi kalian akan menemukan gambar rumah kaca. Gambaran rumah kaca adalah ruangan transparan terbuat dari kaca yang berfungsi untuk memerangkap udara hangat yang bermanfaat bagi tumbuhan.

Atmosfer bumi pun memiliki sistem serupa dengan rumah kaca tersebut. Bedanya, rumah kaca pada Gambar 8.13 tersusun oleh kaca atau plastik, sedangkan rumah kaca pada atmosfer bumi tersusun oleh gas rumah kaca, yaitu karbon dioksida, belerang dioksida, nitrogen monoksida, nitrogen dioksida, metana, dan lain-lain. Peristiwa terperangkapnya udara hangat di bumi dikenal dengan istilah **efek rumah kaca**.

Sumber panas utama permukaan bumi adalah sinar matahari berupa radiasi gelombang pendek dan cahaya tampak. Saat sampai di permukaan bumi, radiasi tersebut berubah menjadi energi panas. Energi panas dimanfaatkan dalam

menunjang aktivitas manusia, seperti mengeringkan baju, mengeringkan hasil pertanian, dan pembangkit tenaga listrik.



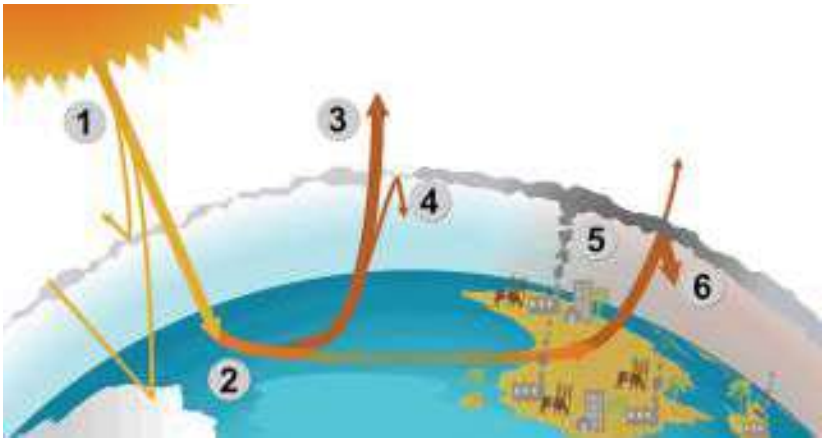
**Gambar 8.13** Rumah Kaca
*Sumber: Freepik/freepik.com (2023)*

Energi panas tersebut sebagian diserap oleh permukaan bumi dan sebagian dipantulkan kembali ke angkasa dalam bentuk radiasi inframerah. Namun, gelombang inframerah tidak dapat dilepaskan menuju luar angkasa, melainkan dipantulkan kembali menuju bumi oleh gas-gas rumah kaca di atmosfer bumi, sehingga kebutuhan suhu rata-rata 15°C untuk permukaan bumi dari efek rumah kaca dapat terpenuhi.

Dalam keadaan normal, efek rumah kaca berfungsi untuk menjaga suhu antara siang dan malam tidak berbeda jauh, dan menjaga suhu bumi tetap hangat. Jika pada atmosfer bumi kekurangan gas rumah kaca, suhu bumi akan menurun dan permukaan bumi akan ditutupi es.

### b. Efek rumah kaca yang berlebihan

Jika jumlah gas rumah kaca pada atmosfer berlebihan, peningkatan suhu bumi akan terjadi secara tidak wajar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.14. Kini, temperatur yang dihasilkan oleh emisi gelombang panas gas rumah kaca terhadap bumi telah meningkatkan temperatur bumi sebesar 0,6 hingga 0,9°C.




**Gambar 8.14** Efek rumah kaca
*Sumber: Australian Government/dcceew.gov.au (2023)*

Penjelasan Gambar 8.14:

Langkah 1 : Radiasi matahari mencapai atmosfer bumi, beberapa di antaranya dipantulkan kembali ke luar angkasa.

Langkah 2 : Sisa energi matahari diserap oleh daratan dan lautan untuk menghangatkan bumi.

Langkah 3 : Panas dipantulkan dari bumi menuju ruang angkasa.

Langkah 4 : Sebagian dari panas ini terperangkap oleh gas rumah kaca di atmosfer, menjaga bumi tetap hangat untuk menopang kehidupan.

Langkah 5 : Aktivitas manusia seperti penggunaan bahan bakar fosil serta kegiatan pertanian dan pembukaan lahan meningkatkan jumlah gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer.

Langkah 6 : Gas rumah kaca ini memerangkap panas ekstra, dan menyebabkan suhu bumi naik.

## 3. Aktivitas Manusia Sebagai Penyebab Utama Perubahan Iklim

Kalian sudah mengetahui bahwa salah satu penyebab perubahan iklim adalah peningkatan suhu permukaan bumi. Gas rumah kaca salah satunya adalah gas $CO_{2.}$ Aktivitas manusia mengakibatkan penumpukan gas $CO_2$ di atmosfer bumi sehingga menyebabkan efek rumah kaca. Apa saja aktivitas penghasil gas $CO_2$? Mari telusuri bersama-sama.

### a. Kegiatan Terkait Alih Fungsi Lahan

Guna memenuhi kebutuhan hidupnya, manusia tidak menyadari telah melakukan berbagai aktivitas yang berdampak buruk bagi lingkungan. Salah satu aktivitas manusia yang berdampak buruk adalah alih fungsi lahan. Alih fungsi lahan, khususnya lahan hutan, selain mengurangi habitat hewan dan tumbuhan, bahkan mengganggu keanekaragaman hayati, ternyata juga memiliki andil dalam peningkatan suhu bumi. Alih fungsi lahan dilakukan dengan cara yang paling umum, yaitu membakar lahan hutan. Hal ini menyebabkan pelepasan gas rumah kaca ($CO_2$) dan karbon monoksida (CO) yang berbahaya bagi kesehatan.

Selain itu, penebangan liar yang terjadi belakangan ini juga ikut andil dalam pengurangan populasi pohon di hutan. Penebangan liar adalah kegiatan penebangan pohon hutan, pengangkutan, dan penjualan kayu maupun hasil olahan kayu yang tidak sah dan tidak memiliki izin dari otoritas setempat. Kegiatan ini sering tidak terkendali dan tanpa disadari menurunkan populasi tanaman.

### b. Penggunaan Freon dalam Kehidupan Sehari-hari

Apa yang kalian rasakan saat berada dalam ruangan yang dingin sementara di luar ruangan udara sangat panas? Apa yang kalian lakukan saat beraktivitas di tengah udara panas yang menyengat dan kalian kehausan? Pendingin ruangan dan lemari pendingin sangat membantu kalian agar tidak merasa kepanasan. Bahan pendingin apa yang ada di dalamnya? Ternyata, bahan-bahan ini juga ikut menyebabkan perubahan iklim. Bagaimana hal ini dapat dijelaskan? Ayo kalian cermati ulasan berikut.

Pernahkah kalian mendengar nama freon? Benda apa saja yang berhubungan dengan freon? Freon adalah nama dagang dari senyawa klorofluorokarbon. Senyawa ini mengandung tiga jenis atom dari unsur klorin (Cl), fluorin (F), dan karbon (C). Klorofluorokarbon sering disebut sebagai CFC. Freon umumnya berupa gas tidak berwarna atau cairan yang tidak berwarna yang mudah menguap pada suhu kamar. Beberapa senyawa freon yang umum digunakan disajikan pada Tabel 8.1 berikut.

**Tabel 8.1** Jenis-jenis Freon

| Jenis Freon | Rumus Molekul | Nama Kimia |
|---|---|---|
| Freon 11 | $CCl_3F$ | Triklorofluorometana |
| Freon 12 | $CCl_2F_2$ | Diklorodifluorometana |
| Freon 22 | $CHClF_3$ | Klorotrifluorometana |
| Freon 113 | $C_2Cl_3F_3$ | Triklorotrifluoroetana |
| Freon 114 | $CClF_2CClF_2$ | Diklorotetrafluoroetana |
| Freon 115 | $CClF_2CF_3$ | Kloropentafluoroetana |

*Sumber:https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/freon*

Digunakan untuk apa sajakah freon? Indonesia adalah negara beriklim tropis. Gedung-gedung bertingkat di kota besar selalu dilengkapi pendingin ruangan yang mengandung freon. Freon 11, 12, atau 22 banyak dimanfaatkan sebagai bahan refrigeran atau bahan pendingin ruangan untuk *air conditioning* (AC), kulkas, dan bahan aerosol.



**Gambar 8.15** Pendingin ruangan atau AC menggunakan freon
*Sumber: Harris Syamsi Yulianto/Kemendikbudristek (2023)*

Pembuatan freon berkembang sejak tahun 1930. Namun, karena freon dapat menimbulkan penipisan ozon, membentuk lubang pada ozon di atas wilayah Antartika, dan meningkatkan efek rumah kaca, maka melalui Perjanjian Montreal yang dibuat oleh PBB pada tahun 1987, penggunaan freon dibatasi. Mengapa demikian? Mari kita kenali dulu ozon ($O_3$), yaitu molekul unsur yang mengandung atom oksigen. Sekitar 90% ozon terdapat pada lapisan stratosfer

yang mempunyai ketinggian 15–30 km dari permukaan bumi. Tidak seperti ozon yang terdapat pada lapisan troposfer atau pada permukaan tanah, ozon yang terdapat pada lapisan stratosfer ini adalah ozon yang baik karena menyaring sebagian besar radiasi sinar ultraviolet tipe-B yang berbahaya.

Ayo kita cermati reaksi kimia yang menyebabkan penipisan ozon, bahkan membentuk lubang pada ozon. Pada lapisan stratosfer terdapat molekul klorin monoksida (ClO). Molekul ini merupakan senyawa dengan jumlah paling banyak dan bersifat paling reaktif di lapisan stratosfer.

Sumber tambahan atom klorin yang berasal dari aktivitas manusia adalah dari penggunaan senyawa klorofluorocarbon (CFC). Ketika CFC mencapai lapisan stratosfer, radiasi UV dengan energi tinggi mengurai CFC dan menghasilkan Cl. Reaksi ClO di atmosfer ditunjukkan pada persamaan reaksi kimia berikut.

$$Cl(g) + O_3(g) \xrightarrow{\text{sinar UV}} ClO + O_2(g) \qquad \text{(persamaan 1)}$$

$$ClO(g) + O(g) \xrightarrow{\text{sinar UV}} Cl\,(g) + O_2(g) \qquad \text{(persamaan 2)}$$

$$ClO(g) + ClO(g) \xrightarrow{\text{sinar UV}} O_2(g) + 2Cl(g) \qquad \text{(persamaan 3)}$$

Berdasarkan persamaan reaksi kimia tersebut diketahui bahwa jumlah ozon akan semakin berkurang. Dampak negatif penipisan ozon adalah timbulnya penyakit kanker, katarak, dan gangguan imun pada manusia, kerusakan pada ekosistem laut, dan menurunnya produktivitas tanaman. Tentu kalian ingat prinsip kimia hijau yang kalian dipelajari, bukan? Jika upaya pengurangan senyawa CFC tidak dilakukan maka menurut sumber *https://atmosphere.copernicus.eu/monitoring-ozone-layer*, lubang ozon baru bisa sepenuhnya tertutup pada tahun 2060!

Langkah apa yang bisa dilakukan agar mengurangi penipisan ozon? Penggunaan senyawa HFC (hidrofluorokarbon) sebagai pengganti CFC memang mengurangi penipisan ozon, namun ternyata menimbulkan peningkatan gas $CO_2$ yang berdampak pada perubahan iklim. Oleh karena itu, melalui Amandemen Kigali yang diberlakukan pada Januari 2019, penggunaan senyawa HFC juga harus dibatasi selama tiga dekade ke depan.

## 4. Aktivitas Kendaraan Bermotor

Transportasi apakah yang kalian gunakan untuk pergi ke sekolah? Apakah kalian berjalan kaki, naik sepeda, atau menggunakan kendaraan bermotor? Tentu

sebagian besar dari kalian naik kendaraan bermotor, bukan? Tahukah kalian bahwa aktivitas kendaraan bermotor turut berkontribusi terhadap perubahan iklim. Mari kita simak ulasan berikut.



**Gambar 8.16** Aktivitas Kendaraan di Kota Besar
*Sumber: Elizabeth Tjahjadarmawan/Kemendikbudristek (2023)*

Menurut sumber cnnindonesia.com pada 4 Februari 2021 dengan judul berita "Sensus Kendaraan di Indonesia Lebih dari 133 Juta Unit", menyebutkan bahwa jumlah kendaraan bermotor terus meningkat. Data dari Badan Pusat Statistik menunjukkan pada tahun 2019 populasi seluruh kendaraan di Indonesia mencapai lebih dari 133 juta unit atau terjadi peningkatan jumlah kendaraan sebesar 5,3 persen. Lalu, apa akibatnya?

Udara adalah faktor penting dalam kehidupan. Akibat aktivitas kendaraan bermotor meningkat maka emisi gas buang hasil reaksi pembakaran juga meningkat sehingga menyebabkan pencemaran udara terutama di perkotaan yang mencapai angka 70%. Gas-gas buang hasil reaksi pembakaran mengandung gas nitrogen oksida ($NO_x$), sulfur dioksida ($SO_2$), karbon monoksida (CO), metana ($CH_4$), dan pencemar partikulat berupa hidrokarbon dan logam timbal. Bagaimana reaksi pembakaran yang terjadi dalam mesin kendaraan bermotor? Kalian tahu bahwa bahan bakar kendaraan bermotor, baik bensin maupun solar, berasal dari minyak bumi yang mengandung atom karbon (C) dan hidrogen (H), yaitu senyawa hidrokarbon ($C_xH_y$). Senyawa hidrokarbon yang dimaksud adalah heptana ($C_7H_{16}$) dan isooktana ($C_8H_{18}$).

Ayo ingat kembali apakah syarat agar reaksi pembakaran terjadi? Tentu adanya udara menyebabkan pembakaran berlangsung, bukan? Udara sebagian besar mengandung gas nitrogen ($N_2$) dan oksigen ($O_2$). Dengan bantuan gas oksigen dalam udara dan kondisi dalam mesin kendaraan bermotor yang suhu dan tekanannya tinggi maka hidrokarbon $C_xH_y$ diubah menjadi gas-gas karbon dioksida ($CO_2$) dan uap air ($H_2O$). Namun, sering kali terjadi kurangnya gas oksigen dalam mesin kendaraan sehingga menyebabkan reaksi kimia yang tidak sempurna menghasilkan gas beracun, yaitu gas CO dan partikulat hidrokarbon (HC). Cermati persamaan reaksi kimia berikut.

$$2C_8H_{18}(l) + 7O_2(g) \longrightarrow 17H_2(g) + 14CO(g) + 2HC(g)$$

Lalu, bagaimana dengan gas $N_2$? Sifat gas nitrogen adalah inert, yaitu tidak mudah bereaksi dengan zat lainnya. Namun dengan kondisi dalam mesin kendaraan bermotor yang suhu dan tekanannya tinggi juga mengubah gas $N_2$ ini menjadi berbagai gas nitrogen oksida ($NO_x$) yang berbahaya. Semakin tinggi suhu dalam mesin kendaraan bermotor, semakin banyak gas $NO_x$ yang dihasilkan. Berikut adalah beberapa contoh persamaan reaksi kimia yang menghasilkan senyawa gas $NO_x$.

$$N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO(g)$$

$$N_2(g) + 2O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$$

$$2N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2N_2O(g)$$

$$2N_2(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 2N_2O_2(g)$$

Untuk mengurangi emisi gas buang yang berbahaya maka dalam mesin kendaraan bermotor dipasang alat bernama katalitik konverter. Alat ini berfungsi mengubah gas-gas beracun menjadi gas-gas yang lebih ramah lingkungan. Persamaan reaksi kimia yang terjadi dalam katalitik konverter ditulis sebagai berikut.

a. Mengubah gas $NO_x$ menjadi gas $N_2$ dan $O_2$
   $NO_x(g) \longrightarrow N(g) + O_x(g)$
   ($x$ disini adalah angka yang disesuaikan dengan nama senyawa kimianya)
   Misalnya: $2NO_2(g) \longrightarrow N_2(g) + 2O_2(g)$

ii. Mengubah gas CO menjadi gas $CO_2$
   $2CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$

c. Mengubah cairan $C_xH_y$ dalam bahan bakar menjadi gas $CO_2$ dan uap $H_2O$. Bahan bakar kendaraan mengandung senyawa heptana ($C_7H_{16}$) dan isooktana ($C_8H_{18}$). Sebagai contoh reaksi pembakaran heptana ($C_7H_{16}$) ditulis sebagai berikut.
$C_7H_{16}(l) + 11O_2(g) \longrightarrow 7CO_2(g) + 8H_2O(g)$

Ayo kalian mengingat kembali materi penulisan persamaan reaksi kimia yang telah diulas pada Bab 4 dan 5.

**Persamaan Reaksi Pembakaran Sempurna**

Secara umum, bahan bakar kendaraan diberi simbol senyawa $C_xH_y$. Angka *x* dan *y* merupakan jumlah atom C dan H.
Persamaan reaksi pembakaran sempurna bahan bakar $C_xH_y$ adalah sebagai berikut.

$$C_xH_y(l) + (x + \tfrac{1}{4}y)O_2(g) \longrightarrow xCO_2(g) + \tfrac{1}{2}yH_2O(g)$$

Notasi *x* di sini adalah angka yang menyatakan koefisien reaksi kimia yang disesuaikan dengan nama senyawa kimianya.

Berdasarkan persamaan reaksi kimia itu, ternyata penggunaan alat katalitik konverter pada mesin kendaraan bermotor dapat mengurangi emisi gas beracun, tetapi tetap dihasilkan gas karbon dioksida ($CO_2$). Hal ini akan terus berdampak pada pemanasan global. Selain itu, gas-gas buang ini dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan yaitu penyakit kanker, gangguan pernapasan, sistem metabolisme tubuh, fungsi hati, kinerja hemoglobin dan darah, serta menurunnya tingkat kecerdasan.

## 5. Kegiatan Terkait Produksi dan Penggunaan Plastik

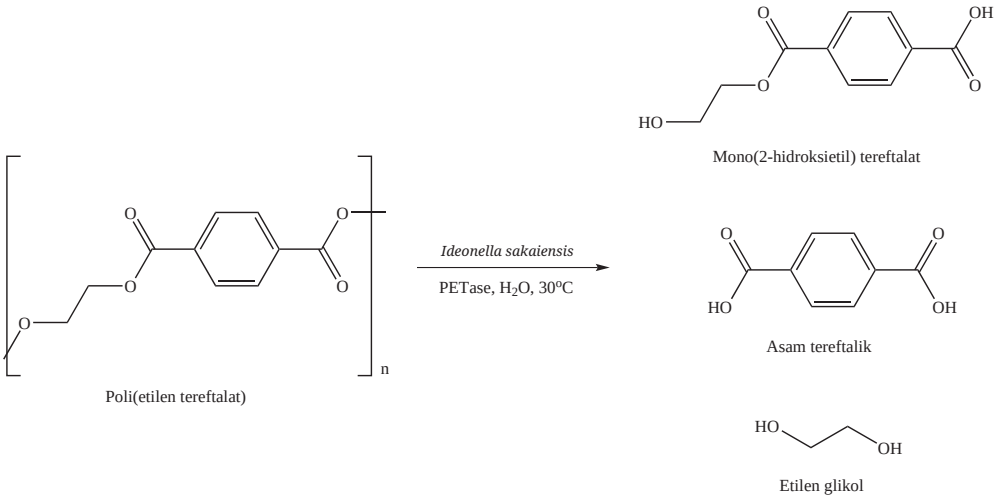
Tahukah kalian bahwa 57% persoalan limbah plastik di Indonesia disebabkan oleh kemasan plastik, yaitu kemasan makanan dan minuman. Sekitar 40% plastik digunakan sebagai kemasan produk makanan, minuman, obat-obatan, kosmetik, pertanian, dan lain-lain. Kemasan barang-barang yang dijual *online* juga menggunakan plastik. Peralatan dapur dan rumah tangga juga banyak yang terbuat dari plastik. Setelah digunakan ke manakah plastik-plastik tersebut? Menumpuk sebagai limbah plastik, bukan?



**Gambar 8.17** Limbah sampah plastik
*Sumber: Tiara Melinda/static.gatra.com (2020)*

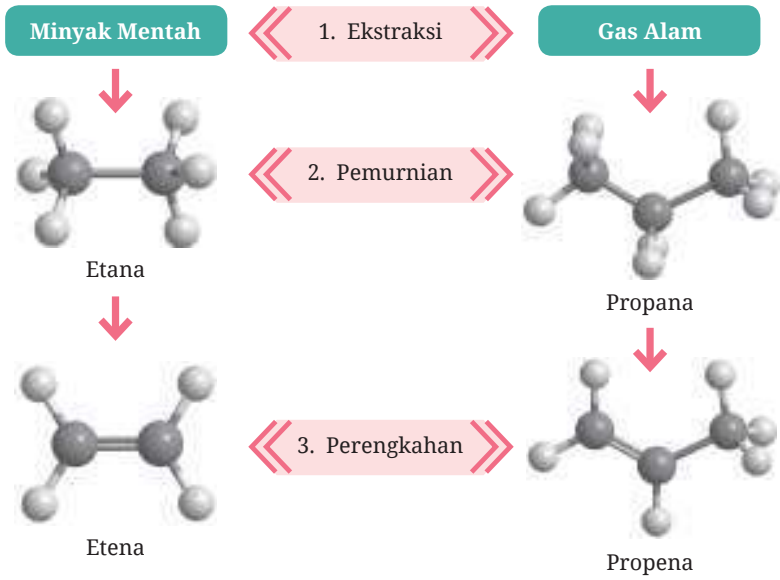
Ketika plastik mencemari lingkungan maka plastik akan selamanya menjadi polutan. Mengapa demikian? Plastik dapat terurai menjadi mikroplastik melalui proses biodegradasi dengan bantuan mikroorganisme, sinar matahari, panas, dan air. Mikroplastik akan mencemari semua bagian dunia, bahkan hingga ke lautan yang dalam. Mikroplastik dapat bereaksi dengan bahan-bahan kimia yang ada di sekitarnya menghasilkan senyawa beracun yang dikonsumsi oleh fitoplankton dan hewan-hewan laut. Lalu, bagaimana kontribusinya terhadap pemanasan global?

Tahukah kalian bahwa salah satu mikroplastik berasal dari kemasan plastik yang berwarna putih dan transparan yang disebut senyawa PET (polietilentereftalat). Kalian mengamati pada bagian bawah botol kemasan air minum terdapat simbol segitiga yang di dalamnya tertulis angka 1. Angka ini menunjukkan senyawa PET sebagai bahan dasar plastik. PET dapat mengalami biodegradasi sehingga melepaskan gas $CO_2$ menurut persamaan reaksi kimia pada Gambar 8.18 berikut ini.




**Gambar 8.18** Reaksi kimia biodegradasi plastik PET

Nah, bagaimana hubungan produksi plastik terhadap pemanasan global? Tahukah kalian bahwa plastik dibuat dari bahan baku utama minyak bumi, gas alam, dan batu bara yang diekstraksi dari dalam perut bumi melalui metode *fracking*. Selain mencemari air tanah, kegiatan pembuatan plastik dari bahan baku berupa minyak bumi, gas alam, dan batu bara ini merupakan **kegiatan padat karbon**. Apakah artinya? Perhatikan Gambar 8.19 berikut.




**Gambar 8.19** Diagram produksi bahan plastik dari minyak bumi dan gas alam

Pada gambar tersebut, secara garis besar minyak bumi dan gas alam diekstraksi dari dalam bumi kemudian dilakukan proses refinasi sehingga menghasilkan senyawa etana ($C_2H_6$) dan propana ($C_3H_8$). Molekul etana dan propana dipecah melalui proses perengkahan (*cracking*) menghasilkan etena ($C_2H_4$) dan propena ($C_3H_6$). Kemudian melalui proses polimerisasi dihasilkan plastik polietilena (PE) dan polipropilena (PP). Lalu, pada proses manakah gas $CO_2$ dihasilkan? Sumber dari situs *https://yaleclimateconnections.org/2019/08/how-plastics-contribute-to-climate-change/* menuliskan bahwa di Amerika hampir sebanyak 13,5 juta metrik ton $CO_2$ per tahun dilepas ke udara pada saat proses ekstraksi gas alam sebagai bahan baku plastik.

## 6. Penimbunan Sampah Organik

Sebagian besar sampah dapur yang dihasilkan, baik pada skala rumahan maupun restoran, merupakan sampah organik. Pernahkah kalian berpikir bahwa sampah dapur yang dibuang itu ikut menyumbang pemanasan global?



**Gambar 8.20** Sampah dapur
*Sumber: Muu-karhu/flickr.com (2022)*

Peningkatan jumlah penduduk khususnya di kota besar menyebabkan peningkatan aktivitas penduduk yang berarti juga peningkatan jumlah timbunan sampah. Sampah dapur dari setiap rumah tangga menjadi sampah perkotaan

yang dibawa ke tempat pemrosesan akhir (TPA). Sampah dapur yang bersifat organik ini menjadi kontributor terhadap gas rumah kaca. Mengapa demikian? Ayo kalian perhatikan reaksi kimia berikut!

Dalam keadaan terbuka (ada udara) atau disebut **aerob**:

$$\text{Bahan organik} + O_2(g) \xrightarrow{\text{mikroba aerob}} CO_2(g) + H_2O(l) + \text{hara} + \text{humus} + \text{energi}$$

Dalam keadaan tertutup (tanpa udara) atau disebut **anaerob**:

$$\text{Bahan organik} \xrightarrow{\text{mikroba anaerob}} CH_4(g) + \text{hara} + \text{humus} + \text{energi}$$

Sampah organik yang dibiarkan di udara terbuka (aerob) maupun tertutup (anaerob) mengalami proses pengomposan yang dibantu oleh mikroba. Meskipun proses pengomposan menghasilkan unsur hara dan humus yang dapat menyuburkan tanah, tetapi selama reaksi kimia berlangsung juga dilepaskan gas rumah kaca, yaitu karbon dioksida ($CO_2$) dan metana ($CH_4$), yang menyebabkan pemanasan global.Mari lanjutkan proyek kalian dengan melakukan Proyek Tahap 2.



## Proyek Tahap 2

**Ayo Analisis Penyebab Perubahan LIngkungan**

Berdasarkan hasil observasi dan pencarian data yang kalian lakukan pada Proyek Tahap 1, analisislah apa penyebab perubahan suhu terhadap panjang musim atau siklus hidup makhluk hidup tertentu yang terjadi di lingkungan kalian. Untuk menambah informasi tentang penyebab permasalahan lingkungan ini, kalian dapat melakukan observasi, wawancara pada tokoh atau dinas lingkungan setempat, ataupun kajian informasi dari media yang terpercaya. Dalam menganalisis masalah, kalian dapat menggunakan metode *fishbone* atau pohon masalah.

Selamat Bekerja.

## E. Upaya Mitigasi dan Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

### 1. Upaya Mitigasi

Menanggapi perubahan iklim, mitigasi adalah pendekatan untuk mengurangi dan menstabilkan tingkat gas rumah kaca yang memerangkap panas di atmosfer. Upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim merupakan agenda Pembangunan Berkelanjutan PBB 2030 nomor 13 (UN, 2015). Sebagai Pelajar Pancasila, kalian perlu mengembangkan elemen akhlak kepada alam. Di sini kalian bisa berperan dalam mengurangi dampak perubahan iklim. Bagaimana caranya? Mari ikuti ulasan berikut.

#### a. Restorasi Hutan

Menurut sumber *https://climate.nasa.gov/news/2927/examining-the-viability-of-planting-trees-to-help-mitigate-climate-change/*, upaya menghutankan kembali 100 juta hektare lahan di Afrika hingga tahun 2030 sedang dilakukan oleh berbagai negara yang tergabung dalam African Forest Landscape Restoration Initiative (AFR100).



**Gambar 8.21** Restorasi Hutan
*Sumber: Andrea Borgarello/World Bank (2019)*

Gambar 8.21 adalah salah satu upaya reboisasi global yang dapat memberikan dampak mitigasi iklim secara bertahap dan jangka panjang. Dengan menanam, kita dapat memulihkan ekosistem sehingga keanekaragaman hayati terjaga, terutama di daerah tropis. Tanaman menyerap karbon di atmosfer karena saat

fotosintesis berlangsung, tanaman memerlukan gas karbon dioksida ($CO_2$). Jose (2009) menjelaskan bahwa pola menanam dengan banyak jenis tanaman akan meningkatkan serapan karbon di atmosfer lebih banyak ketimbang monokultur. Bagaimana menurut kalian? Tanaman apa saja yang sudah kalian tanam di rumah atau sekolah?

**b. Mengurangi Limbah Plastik**

Penggunaan plastik menjadi hal yang biasa dalam keseharian. Tentu ini menjadi ancaman bagi bumi. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2019), Indonesia menempati posisi kedua penyumbang sampah plastik terbesar di dunia pada angka 7,4 juta ton setiap tahun. Indeks pengelolaan plastik (*Plastic Management Index*) yang dilakukan pada 25 negara menunjukkan Indonesia berada di bawah Vietnam, Thailand, dan Malaysia.

Apa yang bisa kalian lakukan untuk ikut mengurangi dampak perubahan iklim akibat menumpuknya sampah plastik? Jika diolah, limbah plastik berpotensi menjadi peluang munculnya produk-produk ramah lingkungan. Potensi apa sajakah itu?

*1) Potensi Energi Hijau*

Tahukah kalian bahwa limbah plastik dapat diolah menjadi salah satu sumber energi nonfosil. Mengapa demikian? Limbah plastik mengandung poliolefin sehingga dapat diolah menjadi bahan bakar cair bensin dan diesel. Dalam proses pembuatannya, limbah plastik direaksikan dengan kombinasi logam rutenium dan karbon sebagai katalis pada suhu yang lebih rendah dari 220$^{o}$C (Liu *et al.*, Science Advances, 2021). Coba kalian ingat kembali lambang atom dari unsur rutenium dan unsur karbon yang sudah diulas pada Bab 4.

*2) Potensi usaha pembuatan ecobrick*

Menurut kalian apa itu *ecobrick*? Apa yang kalian lakukan dengan kemasan makanan/minuman yang kalian beli? Apakah kemasan makanan dan minuman itu dimanfaatkan atau dibuang ke tempat sampah? Nah, *ecobrick* memanfaatkan kemasan plastik makanan dan minuman, atau produk apa pun termasuk botol plastik, menjadi sebuah *brick* atau bata yang padat. Salah satu pemanfaatan *ecobrick* adalah sebagai bahan pembuatan perabot hingga bahan bangunan.




**Gambar 8.22** Rak Buku dan Pot Bunga dari *Ecobrick*
*Sumber: Elizabeth Tjahjadarmawan/Kemendikbudristek (2023)*

*3) Potensi Bahan Bangunan*

Sampah plastik seperti botol plastik, kemasan produk mi instan, sabun cuci, kopi, dan makanan ringan dapat diolah menjadi batu bata, *hollow block* (batu bata berongga), dan *roster* (lubang angin pada dinding). Produk dari sampah plastik ini diaplikasikan untuk jalanan, rumah, dan tempat parkir. Apa buktinya? Di California, Amerika Serikat, perusahaan CalTrans mengaspal jalan yang diberi nama *highway 162* menggunakan 100% sampah botol plastik.

## 2. Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

Apakah adaptasi terhadap perubahan iklim? Adaptasi merupakan proses penyesuaian sebagai usaha alam atau manusia menyesuaikan diri untuk mengurangi dampak perubahan iklim yang sudah atau mungkin terjadi.

Upaya adaptasi sebaiknya terintegrasi dan sinergis dengan upaya mitigasi. Kalian telah mengetahui bahwa kegiatan menanam adalah salah satu upaya mitigasi. Mengembangkan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi kering dapat bersinergi dengan upaya mitigasi tadi.

Tahukah kalian bahwa tanaman anggur dapat ditanam di halaman rumah (Gambar 8.23). Mengapa demikian? Kondisi geografis Indonesia yang beriklim tropis justru mendukung pengembangan tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi kering, salah satunya tanaman anggur. Menanam anggur adalah upaya meningkatkan ketahanan pangan sebagai bentuk adaptasi terhadap perubahan iklim. Bagaimana menurut kalian?



**Gambar 8.23** Tanaman anggur sebagai upaya adaptasi terhadap perubahan iklim.
*Sumber: Elizabeth Tjahjadarmawan/Kemendikbudristek (2023)*

Pada musim kemarau, daun tanaman anggur dipotong untuk mengurangi kebutuhan air dengan meningkatkan laju transpirasi. Daun tanaman yang dipotong akan memicu munculnya bakal buah anggur pada batang tersier. Di samping itu memilih varietas tanaman anggur yang berbatang pendek akan memperlancar sirkulasi air saat menghadapi keadaan kering.

## F. Kerja Sama Global untuk Mengatasi Perubahan Iklim

Peristiwa perubahan iklim menjadi tanggung jawab seluruh masyarakat dunia. Masalah perubahan iklim merupakan masalah yang serius bagi keberlangsungan hidup manusia hingga organisasi internasional dan pemerintah dalam upaya global untuk mengatasi perubahan iklim.

### 1. Perjanjian Paris

Pemerintah Indonesia diwakili oleh Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan ikut menandatangani Perjanjian Paris tentang Perubahan Iklim yang berlangsung di Markas Besar PBB, New York, Amerika Serikat, pada Jumat, 22 April 2016.

Perjanjian Paris atau *Paris Agreement* merupakan perjanjian internasional tentang perubahan iklim yang bertujuan untuk menahan kenaikan suhu rata-rata global. Kesepakatan iklim bertujuan untuk menjaga kenaikan suhu global di bawah 2°C menjadi 1,5°C.

Selain itu, Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim diarahkan untuk meningkatkan kemampuan adaptasi terhadap dampak negatif perubahan iklim. Adaptasi bertujuan mencapai ketahanan iklim dan pembangunan rendah emisi, tanpa mengancam produksi pangan.

### 2. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

Persoalan perubahan iklim dan dampaknya dirasakan semakin meningkat seiring dengan konsentrasi emisi gas rumah kaca di atmosfer yang terus meningkat. Berdasarkan hal tersebut, Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) Bumi di Rio de Janeiro, Brazil tahun 1992, menghasilkan Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC). Konvensi perubahan iklim ini bertujuan untuk menstabilisasi konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer pada tingkat yang tidak membahayakan sistem iklim.

### *3. Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)

Perubahan iklim yang diakui secara resmi di tingkat internasional disusun oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). IPCC menyusun Laporan Kajian yang komprehensif setiap lima tahun tentang dasar ilmiah, teknis dan aspek sosial-ekonomi, penyebabnya, potensi dampak, dan strategi dalam menghadapi perubahan iklim. Dampak iklim akan meningkat sejalan dengan berlanjutnya peristiwa perubahan iklim. Laporan IPCC menyatakan bahwa emisi gas rumah kaca sebagian besar dipicu oleh peningkatan kesejahteraan global. Suhu rata-rata akan meningkat sebesar 3-5°C pada akhir abad ini dibandingkan dengan era pra-industri. Untuk itu, dunia internasional berkomitmen untuk mengurangi dan membatasi kenaikan suhu global sampai 2°C atau bahkan di bawah itu.

Kalian dapat telusuri lebih lanjut kesepakatan-kesepakatan lain yang berhubungan dengan penanganan perubahan iklim.

## Proyek Tahap 3

**Ayo Tentukan Solusi**

Pada Proyek Tahap 2 kalian telah menguraikan berbagai penyebab dari perubahan lingkungan yang kalian temukan. Diskusikan dalam kelompokmu, dari analisis penyebab tersebut buatlah sebuah solusi terbaik yang dapat kalian terapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Solusi yang kalian ajukan berupa tindakan nyata. Kampanyekanlah solusi yang kalian ciptakan dengan media presentasi yang menarik, seperti poster, infografis, video, atau *podcast*, kemudian unggah ke media sosial kalian.

Selamat Bekerja.

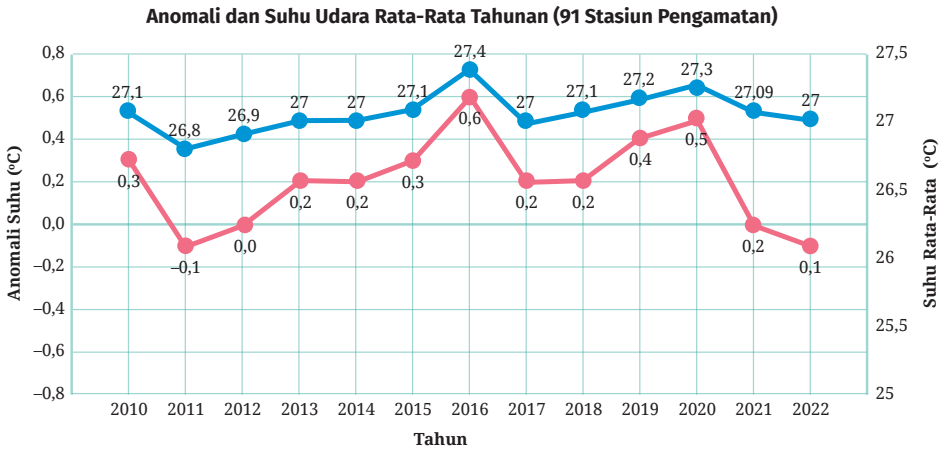
## Intisari

1. Perubahan iklim disebabkan oleh peningkatan gas rumah kaca, antara lain gas $CO_2$ dan $CH_4$. Penambahan gas rumah kaca terutama disebabkan oleh aktivitas manusia yang berakibat pada pemanasan global.
2. Gejala perubahan iklim dapat diamati dari naiknya suhu bumi dan air laut, naiknya permukaan laut, mencairnya es, dan cuaca ekstrem.
3. Perubahan iklim membawa dampak bencana alam, rusaknya ekosistem dan keanekaragaman hayati, masalah kesehatan, dan kerugian ekonomi.
4. Kerja sama global dan peran individu untuk mengurangi emisi gas rumah kaca adalah bentuk upaya untuk mengurangi perubahan iklim.
5. Peran individu yang dapat kita lakukan antara lain mengurangi penggunaan plastik, dan menggunakan kendaraan umum atau yang bertenaga nonfosil, menggunakan produk-produk yang ramah lingkungan, serta restorasi hutan atau lahan gundul.

## Ayo Cek Pemahaman

**Soal 1**

A. Amatilah data berikut ini!




**Gambar 8.24** Anomali suhu udara di Indonesia sepanjang periode data pengamatan sejak 2010-2022.

*Sumber: BMKG/bmkg.go.id (2023)*

1. Berdasarkan data di atas, berapakah suhu udara rata-rata normal untuk wilayah Indonesia?
2. Pada tahun berapakah anomali suhu udara rata-rata paling ekstrem terjadi di wilayah Indonesia?
3. Tentukanlah rata-rata anomali suhu udara di Indonesia dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Refleksikanlah apa yang telah terjadi di Indonesia dalam kurun waktu tersebut hingga terjadi anomali suhu udara rata-rata didukung dengan data-data dari sumber terpercaya!

B. Jawablah pertanyaan berikut!

Kalian telah membaca fakta bahwa es kutub telah banyak mencair. Mengapa informasi tersebut menjadi sangat penting bagi kita? Jelaskan pengaruh mencairnya es kutub terhadap Indonesia. Lengkapi penjelasan kalian dengan data dan fakta yang kalian dapatkan dari sumber yang relevan!

C. Pelajari penjelasan berikut ini!

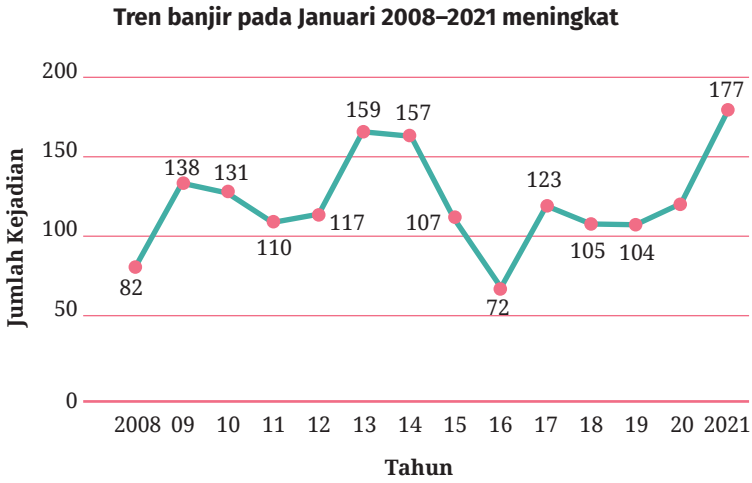
Para peneliti mencoba melakukan penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap jenis kelamin hasil pembiakan penyu hijau. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa suhu yang lebih hangat menyebabkan hasil pembiakan lebih banyak penyu betina, sedangkan suhu dingin lebih banyak penyu jantan.

1. Tentukanlah benar atau salah pernyataan berikut!

| Pernyataan | Benar | Salah |
|---|---|---|
| Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis kelamin penyu. | | |
| Peneliti akan memberikan berbagai perlakuan suhu yang berbeda saat telur dierami dalam pasir. | | |
| Hasil penelitian ini akan digunakan sebagai dasar pembiakan penyu hijau. | | |

2. Prediksikanlah bagaimana jenis kelamin penyu pada tahun ini dibandingkan 20 tahun yang lalu. Mengapa demikian?

D. Simaklah penjelasan berikut kemudian jawab pertanyaannya!




**Gambar 8.25** Grafik peristiwa banjir dari tahun 2008 hingga Januari 2021.
*Sumber: BNPB/www.bbc.com (2021)*

Menurut data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), 372 bencana alam telah terjadi di Indonesia dalam kurun dua bulan terakhir pada tahun 2021.

Dilansir dari antaranews.com, 8 Februari 2021, bencana tersebut meliputi 227 kejadian banjir, 66 puting beliung, 60 tanah longsor, 7 gempa bumi dengan magnitudo besar, 7 gelombang pasang atau abrasi, serta 4 kejadian kebakaran hutan dan lahan. Dilansir dari kompas.com, BMKG mencatat sudah terjadi 646 gempa bumi dan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) mencatat 21 gunung berapi di Indonesia berstatus waspada sepanjang Januari 2021.

Jika dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya, peristiwa yang benar-benar mencolok adalah banjir. Pada Gambar 8.25, terlihat bahwa peningkatan kejadian banjir meningkat secara signifikan di awal tahun 2021.

Pertanyaan:

1. Apa itu bencana hidrometeorologi? Berdasarkan cuplikan berita di atas, uraikanlah jumlah bencana yang termasuk ke dalam kategori bencana hidrometeorologi yang telah terjadi di awal tahun 2021!
2. Perhatikanlah Gambar 8.25, terdapat grafik kejadian banjir dari tahun 2008 hingga Januari 2021 di Indonesia. Menurut kalian, adakah hubungan antara grafik pada Gambar 8.25 dengan grafik pada Gambar 8.24? Jelaskanlah jawaban kalian didukung dengan teori dan data terkait yang kalian dapatkan dari sumber terpercaya!

Sumber bacaan:

**Berita 1**: Bencana di Wilayah Indonesia

https://buku.kemdikbud.go.id/s/BA

**Berita 2**: Gempa Bumi di Wilayah Indonesia

https://buku.kemdikbud.go.id/s/GMI

**Berita 3**: Bencana Banjir di Wilayah Indonesia

https://buku.kemdikbud.go.id/s/PB

**Berita 4**: Bencana di Wilayah Indonesia

https://buku.kemdikbud.go.id/s/SB

**Soal 2**

Soal diadaptasi dari sumber: *https://www.oecd.org/pisa/38709385.pdf*. Pertanyaan no. 1, 2, dan 3 dikerjakan berdasarkan teks berikut.

Diskusi kelompok sebagai salah satu bagian dari proses pembelajaran di kelas IPA pagi itu berlangsung seru. Angkasa salah satu anggota dalam kelompok itu mengemukakan bahwa menurut sumber referensi yang ia baca, gas karbon dioksida bukanlah penyebab utama efek rumah kaca. Sementara Bahtera mengemukakan hasil penelusuran informasi menunjukkan bahwa efek rumah kaca relatif disebabkan oleh empat gas yang tercantum pada Tabel 1.

**Tabel 1** Efek Rumah Kaca Relatif per Molekul Gas

| Karbon Dioksida ($CO_2$) | Metana ($CH_4$) | Dinitrogen Oksida ($N_2O$) | Klorofluorokarbon (CFC) |
|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 160 | 17.000 |

Diskusi kelompok terus berjalan. Cantika, anggota kelompok lainnya, mengemukakan hasil penelusuran informasi berupa Tabel 2.

**Tabel 2** Kontribusi Gas Rumah Kaca terhadap Pemanasan Global

| Gas Rumah Kaca | Kontribusi pada Pemanasan Global | Sumber Emisi |
|---|---|---|
| $CO_2$ | 61% | Pembakaran bahan bakar fosil dan penebangan hutan |
| $CH_4$ | 15% | Aktivitas biologis dan dekomposisi *landfills* |
| $N_2O$ | 4% | Pupuk dan pembakaran bahan bakar fosil |
| CFC | 12% | Aerosol propelan, pendingin, dan aktivitas industri |
| $O_3$ dan gas-gas lainnya | 8% | Reaksi-reaksi kimia dari pembakaran |

**Pertanyaan**

1. Setelah semua anggota kelompok menganalisis Tabel 1 ternyata mereka belum dapat menyimpulkan gas mana yang menjadi penyebab utama

kenaikan efek rumah kaca. Mereka memerlukan tambahan data yang akan membantu untuk menyimpulkan gas utama penyebab peningkatan rumah kaca. Manakah di antara data berikut yang paling sesuai untuk membantu mereka menyimpulkan jawabannya?

a. Data tentang sumber masing-masing gas
b. Data tentang penyerapan keempat gas tersebut oleh tanaman
c. Data tentang ukuran molekul masing-masing gas
d. Data tentang jumlah masing-masing gas di atmosfer
e. Data tentang bahaya masing-masing gas dalam kehidupan sehari-hari

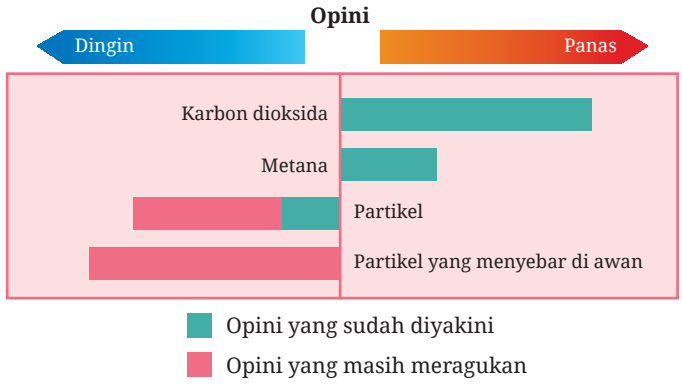
2. Cantika dan anggota lainnya membahas Tabel 2 terkait kontribusinya terhadap pemanasan global dan sumber emisinya. Pernyataan yang *kurang tepat* dari hasil diskusi kelompok dalam kelas adalah ....

a. Gas rumah kaca yang memberi kontribusi terbesar pada pemanasan global adalah $CO_2$.
b. Pengaruh positif peningkatan gas $CO_2$ di atmosfer adalah penyerapan gas $CO_2$ oleh tanaman hijau melalui proses fotosintesis. Ketidakseimbangan jumlah $CO_2$ yang tersedia (0,03% di udara) dengan yang digunakan oleh tanaman menyebabkan suhu bumi terus naik.
c. Penggunaan mobil listrik dan metode penebangan hutan tanpa membakar adalah upaya yang efektif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca.
d. Pemanfaatan limbah organik rumah tangga sebagai pupuk akan mengurangi emisi gas metana di udara.
e. Ozon adalah gas berbahaya dan merupakan gas rumah kaca sehingga penipisan ozon akan mengurangi pemanasan global.

3. Untuk mengatasi peningkatan gas rumah kaca maka perlu diterapkan prinsip-prinsip kimia hijau yang menjaga bumi tetap lestari. Berikut adalah pernyataan yang *tidak mendukung* implementasi prinsip kimia hijau.

a. Menggunakan bahan kimia secukupnya dan mengolah limbah hasil reaksi kimia.
b. Mencegah timbulnya limbah pada proses kimia.
c. Efisiensi energi semaksimal mungkin.
d. Sintesis suatu produk menggunakan bahan baku alami yang ramah lingkungan sebagai pengganti bahan kimia.
e. Penggunaan bahan kimia yang meminimalkan potensi kecelakaan kerja.

4. Pembakaran batu bara, minyak bumi, dan gas alam, penggundulan hutan, serta kegiatan pertanian dan industri turut mengubah komposisi atmosfer dan berkontribusi terhadap perubahan iklim. Aktivitas manusia ini telah menyebabkan peningkatan konsentrasi partikel dan gas rumah kaca di atmosfer. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, yaitu gas karbon dioksida dan metana, dapat menaikkan suhu bumi. Namun sebaliknya, bertambahnya konsentrasi partikel diduga dapat menurunkan suhu bumi. Gambar 8.26 berikut menunjukkan kontributor utama penyebab perubahan suhu di atmosfer.




**Gambar 8.26** Kontributor utama penyebab perubahan suhu di atmosfer.

Cermati Gambar 8.26 lalu jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

a. Apakah yang menjadi kontributor utama penyebab pemanasan global?
b. Hal manakah yang masih diduga dapat menurunkan suhu bumi?
c. Tulislah reaksi kimia setara dari pembakaran sempurna gas metana!
d. Carilah informasi dari berbagai sumber untuk mengemukakan bahwa partikel-partikel yang tersebar di awan dapat menyebabkan penurunan suhu bumi. Partikel apa sajakah dan apa hubungannya dengan aktivitas manusia? Tulislah sumber informasi yang kalian rujuk!
e. Prinsip-prinsip kimia hijau manakah yang tidak didukung oleh aktivitas manusia yang tertulis pada artikel tersebut? Jelaskan!
f. Kembangkan argumen kalian terhadap kegiatan manusia yang tertulis pada artikel tersebut sehingga mendukung pengurangan emisi gas karbon dioksida!

## Pengayaan

Kalian menemukan sebuah pernyataan pada sebuah artikel.




Kritisilah pernyataan di atas dengan mengerjakan aktivitas berikut ini!

1. Apakah sumber bacaan tersebut merupakan sumber bacaan yang valid? Jelaskan!
2. Apakah pernyataan di atas benar atau tidak? Diskusikan dengan kelompokmu bagaimana menjelaskan "pengaruh kenaikan permukaan air laut terhadap perputaran bumi"!

Referensi yang disarankan:

**Berita 1**:
https://buku.kemdikbud.go.id/s/BBM

**Berita 2**:
https://buku.kemdikbud.go.id/s/MGC

**Berita 3**:
https://buku.kemdikbud.go.id/s/PBM

**Berita 4**:
https://buku.kemdikbud.go.id/s/MAL

## Ayo Berefleksi

Sebagai masyarakat global, kita perlu memiliki sikap kebinekaan global. Bumi tempat kita tinggal bersama-sama ini harus dijaga dan dilestarikan. Ini adalah tanggung jawab bersama.



*"Saatnya kita bersama-sama mengatasi darurat iklim, tidak boleh ada solusi yang tertinggal."* – Antonio Guterres, Sekretaris Jenderal PBB

*Sumber: Agencia Luso/wikimedia.org (2016)*

Coba kalian renungkan kalimat yang ditulis oleh Sekretaris Jenderal PBB Antonio Gutteres di atas. Lalu, tuliskanlah hasil refleksi kalian pada buku latihan!

1. Apa yang sudah kalian lakukan selama ini sehingga bumi berada dalam kondisi darurat iklim dan terjadi perubahan lingkungan?
2. Apakah kalian mau mengubah sikap dengan turut menjaga kelestarian lingkungan?
3. Kontribusi apa yang sudah dan akan kalian lakukan untuk kembali berdamai dengan alam?

Ini adalah bagian akhir dari buku Ilmu Pengetahuan Alam kelas 10. Kalian telah mempelajari seluruh bab dan berakhir pada bab tentang perubahan iklim. Namun, belajar tidak pernah selesai. Belajarlah sepanjang hayat. Nah, sekarang saatnya kalian melihat lagi pertanyaan-pertanyaan yang ada pada awal bab, adakah pertanyaan yang belum terjawab?

Selamat Pelajar Pancasila, kalian telah berlatih menjadi "*The Green Hero*" yang mau menyadari, peduli, dan belajar mengantisipasi perubahan iklim yang sedang terjadi di bumi kita. Kalian akan terus belajar menggunakan pengetahuan ini dan melakukan tindakan yang berpihak pada alam. Terus semangat ya. Kalian generasi hebat!

# Glosarium

**abiotik**; komponen tak hidup pada ekosistem

**aerob**; keadaan yang mengandung udara (gas oksigen)

**aerosol**; bahan yang disusun dari partikel padat atau cair yang tersebar dalam fasa gas

**afinitas elektron**; perubahan energi (dalam kJ/mol) ketika atom netral (dalam fase gas) ditambahkan elektron sehingga membentuk ion negatif

**alfa**; partikel bermuatan positif dan identik dengan inti atom helium

**amfifilik**; molekul yang memiliki bagian hidrofobik (takut air) dan bagian hidrofilik (suka air)

**anaerob**; keadaan yang tidak mengandung udara (tidak ada gas oksigen)

**angka pasti**; angka yang diberikan oleh alat ukur sesuai dengan ketelitiannya

**angka penting**; nilai dari hasil pengukuran yang terdiri atas angka pasti dan angka taksiran

**angka taksiran**; angka terakhir hasil pengukuran yang ditaksir

**animalia**; kingdom hewan

**anion**; ion negatif

**antibiosis**; interaksi dua jenis makhluk hidup yang mana salah satu makhluk hidup tersebut mengeluarkan racun untuk membunuh makhluk hidup lainnya

**antibodi**; protein larut yang dihasilkan oleh sistem imunitas sebagai respons terhadap keberadaan suatu antigen dan akan bereaksi dengan antigen tersebut

**antivirus**; agen atau obat yang dapat menghambat replikasi virus sehingga dapat mencegah infeksi virus

**asam nukleat**; polimer yang tersusun atas rantai nukleotida yang mengandung informasi genetik, terdiri atas DNA dan RNA

**atom**; partikel yang menyusun semua zat, terdiri atas proton, neutron, dan elektron

**bakteri**; organisme yang tidak memiliki membran inti

**basilus**; bakteri yang berbentuk batang

**bencana hidrometeorologi**; bencana yang diakibatkan oleh aktivitas cuaca seperti siklus hidrologi, curah hujan, temperatur, angin, dan kelembapan

**besaran**; sesuatu yang ingin diketahui ukurannya dengan skala satuan tertentu

**besaran pokok**; besaran dasar yang satuannya telah ditentukan secara internasional

**besaran turunan**; besaran yang satuan dan dimensinya diturunkan dari satuan dan dimensi besaran pokok

**bilangan Avogadro**; bilangan berangka $6{,}02214076 \times 10^{23}$ yang mengacu pada jumlah partikel yang ada dalam satu mol zat apa saja

**bilangan kuantum**; bilangan yang menyatakan kedudukan atau posisi elektron dalam atom yang diwakili oleh suatu nilai yang menjelaskan kuantitas kekal dalam sistem dinamis

**biodiesel**; bahan bakar mesin diesel yang sebagian atau seluruhnya berasal dari bahan organik

**biogas**; gas yang terbuat dari kotoran ternak atau hasil fermentasi bahan organik

**biopestisida**; pestisida yang mengandung mikroorganisme seperti bakteri patogen, virus, dan jamur

**bioremediasi**; pemanfaatan mikroorganisme (jamur, bakteri) untuk membersihkan senyawa pencemar (polutan) dari lingkungan

**bioteknologi**; cabang ilmu yang mempelajari pemanfaatan makhluk hidup untuk menghasilkan barang dan jasa

**biotik**; komponen makhluk hidup pada ekosistem

**cagar alam**; kawasan yang berfungsi untuk melestarikan keanekaragaman spesies (flora dan fauna) beserta ekosistem yang berada di dalamnya

**Covid-19**; penyakit yang menyebabkan terjadinya gangguan pernapasan dan radang paru yang disebabkan oleh infeksi virus SARS-CoV-2

**cuaca**; keadaan udara di atmosfer pada waktu dan tempat tertentu yang sifatnya tidak menentu dan berubah-ubah

**deuterium**; isotop radioaktif dari unsur hidrogen yang mengandung 1 proton, 1 elektron, dan 1 neutron

**diatomik**; molekul atau unsur yang disusun dari dua mol atom

**dimensi**; cara penyusunan suatu besaran turunan dari besaran-besaran pokok

**DNA**; singkatan dari *deoxyribo nucleic acid*, molekul yang memuat seluruh informasi genetik yang akan diturunkan dari generasi ke generasi

**dolomit**; sejenis kapur yang digunakan untuk memupuk tanaman dan menaikkan tingkat keasaman tanah

**droplet**; cairan atau cipratan liur yang dikeluarkan seseorang dari hidung atau mulut saat bersin, batuk, bahkan berbicara

**efikasi**; angka yang didapatkan melalui uji klinis

**ekosistem**; unit struktural dan fungsional ekologi di mana organisme hidup berinteraksi satu sama lainnya dan dengan lingkungan sekitarnya

**ekskresi**; pengeluaran atau pembuangan ampas hasil metabolisme yang tidak dibutuhkan oleh tubuh

**eksitasi**; penambahan tenaga pada suatu sistem yang mengalihkannya dari keadaan dasar ke suatu keadaan dengan tenaga yang lebih tinggi

**el nino**; peristiwa meningkatnya suhu permukaan laut di daerah samudera pasifik bagian tengah hingga timur

**elektrolisis**; penguraian senyawa berbentuk larutan, lelehan, atau cairan oleh arus listrik yang mengalir melalui senyawa tersebut

**elektron**; partikel bermuatan negatif yang menyusun atom

**elektron valensi**; elektron yang ada di kulit terluar suatu atom

**elektronegativitas**; kemampuan atau kecenderungan suatu atom untuk menangkap atau menarik elektron dari atom lain ke arah dirinya

**endemik**; spesies asli suatu wilayah tertentu

**energi ionisasi**; energi yang diperlukan suatu atom dalam wujud gas untuk melepaskan satu buah elektron

**energi kinetik**; energi yang dimiliki oleh benda bergerak

**energi potensial**; energi yang dimiliki oleh benda yang berada pada posisi/kedudukan tertentu

**eukariotik**; tipe sel yang memiliki membran inti

**famili**; tingkatan takson antara genus dan ordo yang di dalamnya terdiri atas beberapa genus

**fermentasi**; reaksi penguraian bahan-bahan menjadi lebih sederhana yang dibantu oleh mikroorganisme

**flogiston**; dalam bahasa Yunani artinya terbakar

**fosil**; sisa, jejak, atau bekas binatang maupun tumbuhan masa lalu yang berada dalam bumi

**fotokimia**; cabang ilmu kimia tentang hubungan senyawa kimia dengan cahaya

**freon**; gas atau zat cair yang dipakai untuk pendingin udara

**fungi**; sel eukariotik yang tidak memiliki klorofil, tumbuh sebagai hifa, memiliki dinding sel yang mengandung kitin, bersifat heterotrof, menyerap nutrien melalui dinding selnya, mengekskresikan enzim ekstraselular ke lingkungan melalui spora, serta melakukan reproduksi seksual dan aseksual

**gas mulia**; kelompok unsur-unsur gas dalam golongan VIIIA tabel periodik unsur

**gas rumah kaca**; gas-gas yang ada di atmosfer (misalnya $CO_2$, $CH_4$, dan $NO_x$) yang menyebabkan pemanasan global

**gas tertawa**; senyawa kimia dengan rumus $N_2O$, gas ini tidak berwarna dan tidak mudah terbakar

**gelombang**; perambatan energi tanpa disertai perpindahan partikel-partikel medium yang dirambatinya

**gen**; unit pewarisan sifat pada makhluk hidup

**gen terapeutik**; gen normal yang disisipkan dalam virus pada terapi gen

**geotermal**; panas yang berasal dari pusat bumi

**geologi**; ilmu yang mempelajari tentang planet bumi dan isinya

**gletser**; bongkahan atau endapan es yang besar dan tebal yang terbentuk di atas permukaan tanah yang merupakan akumulasi endapan salju atau es yang mengeras dan membatu selama kurun waktu yang sangat lama

**heterotrof**; organisme yang tidak dapat membuat makanan sendiri

**hidrokarbon**; zat yang disusun dari unsur hidrogen dan karbon

**hifa**; struktur menyerupai benang yang terdiri atas satu atau banyak sel yang dikelilingi dinding berbentuk pipa

**hipotesis**; jawaban sementara dari masalah yang perlu diuji kebenarannya melalui eksperimen

**hutan bakau**; hutan yang tumbuh di air payau dan dipengaruhi oleh pasang surut air

**hutan hujan tropis**; hutan yang terletak di daerah tropis dan memiliki curah hujan yang tinggi

**hutan lindung**; area hutan yang dilindungi keberadaannya karena bermanfaat dalam menjaga ekosistem

**hutan mangrove**; nama lain dari hutan bakau

**iklim**; keadaan hawa (suhu, kelembapan, awan, hujan, dan sinar matahari) di suatu daerah dalam jangka waktu lama (30 tahun)

**inert**; keadaan tidak mudah bereaksi dengan zat lain

**insulin** hormon yang berfungsi membantu penyerapan glukosa ke dalam sel-sel tubuh untuk mengendalikan gula darah

**inti atom**; pusat atom yang disusun dari proton dan neutron

**ion**; atom yang melepaskan elektron valensinya atau menangkap elektron dari atom lain

**ion hidronium**; ion hidrogen yang bereaksi dengan molekul air

**isotop**; unsur-unsur yang sama, yaitu memiliki persamaan jumlah proton dan elektron, tetapi jumlah neutronnya berbeda

**jari-jari atom**; jarak antara inti atom sampai ke elektron di kulit terluar

**jaring-jaring makanan**; gabungan dari beberapa rantai makanan yang siklusnya saling berhubungan

**kalor jenis**; banyaknya kalor yang dibutuhkan 1 gram zat untuk menaikkan suhunya sebesar 1$^{o}$C

**kanker**; penyakit yang disebabkan oleh ketidakteraturan perjalanan hormon yang mengakibatkan tumbuhnya daging pada jaringan tubuh yang normal; tumor ganas

**kapsid**; selubung protein virus

**kapsomer**; unit-unit protein penyusun kapsid

**karsinogenik**; sifat bahan yang menyebabkan kanker

**katalis**; zat yang dapat mempercepat atau memperlambat reaksi yang pada akhir reaksi dilepaskan kembali dalam bentuk semula

**kation**; ion positif

**kimia hijau**; cabang ilmu kimia yang mengajarkan desain produk dan proses kimia untuk mengurangi atau menghilangkan penggunaan dan pembentukan senyawa-senyawa berbahaya

**kingdom**; urutan takson tertinggi

**kloning**; teknologi yang digunakan untuk menghasilkan hewan yang sama yang identik secara genetik

**koefisien reaksi**; angka yang berada di depan rumus molekul pada persamaan reaksi kimia

**kokus**; bakteri yang memiliki bentuk bulat

**konfigurasi elektron**; susunan elektron di dalam atom yang mengikuti aturan tertentu

**koronavirus**; virus yang menyebabkan penyakit Covid-19

**kultur jaringan**; metode untuk mengisolasi bagian dari tanaman, seperti sekelompok sel atau jaringan yang ditumbuhkan dalam kondisi aseptik, sehingga bagian tanaman tersebut dapat memperbanyak diri tumbuh menjadi tanaman lengkap kembali

**la nina**; peristiwa menurunnya suhu permukaan laut di daerah Samudra Pasifik bagian tengah hingga timur

**laterit**; mineral yang mengandung oksida nikel dan oksida kobalt

**limfosit**; salah satu jenis sel darah putih yang menghasilkan antibodi

**lipid**; zat lemak yang tidak larut dalam air, tetapi umumnya larut dalam alkohol dan eter dan yang memberi rasa lemak

**lisis**; peristiwa pecah atau rusaknya membran sel dan menyebabkan keluarnya organel sel

**logam tanah jarang**; sekumpulan logam yang ada pada periode keenam tabel periodik unsur (berjumlah 15) ditambah logam skandium dan itrium

**massa atom relatif**; massa suatu atom yang ditentukan dengan cara membandingkan massa atom standar

**massa molekul relatif**; penjumlahan semua massa atom relatif yang menyusun suatu molekul

**materi genetik**; informasi pada setiap sel makhluk hidup yang dapat diturunkan pada keturunan selanjutnya

**membran lipoprotein**; membran yang tersusun atas struktur molekul yang mengandung lemak dan protein

**membran mukosa**; membran yang melapisi rongga tubuh yang memiliki kotak dengan lingkungan luar

**metaloid**; semilogam

**mikoriza**; fungi yang bersimbiosis dengan akar tumbuhan

**mikrohidro**; pembangkit listrik tenaga air berskala kecil dengan batasan kapasitas antara 5 kW–1 MW per unit

**mikrometer**; satuan panjang yang besarnya satu persejuta meter

**mikrometer sekrup**; alat ukur panjang yang terdiri atas sekrup terkalibrasi dan

memiliki tingkat kepresisian 0,01 mm ($10^{-5}$ m)

**mikroplastik**; fragmen atau komponen plastik yang berukuran lima milimeter atau kurang

**miselium**; kumpulan hifa

**mol**; satuan jumlah zat dalam bahan kimia

**molekul**; gabungan atom sejenis maupun tak sejenis

**molekul senyawa**; gabungan atom-atom unsur yang berbeda

**molekul unsur**; molekul yang tersusun atas atom-atom sejenis

**monera**; salah satu kingdom dalam klasifikasi biologi sistem lima kingdom yang terdiri atas makhluk hidup bersel prokariotik

**mutagenik**; dapat menyebabkan mutasi, sesuatu yang menjadi sebab (misalnya zat kimia, cahaya, gas, dan virus) terjadinya mutasi

**nanometer**; satuan panjang yang besarnya satu perseribu juta meter

**nanoteknologi**; pengembangan dan perakitan peralatan atau substansi yang sangat kecil sehingga hanya dapat diukur dengan skala molekuler

**neutron**; partikel tidak bermuatan listrik yang menyusun atom

**nomor atom**; disebut juga nomor proton merupakan jumlah proton dalam inti atom

**nomor massa**; disebut juga nomor nukleon merupakan jumlah total proton dan neutron.

**notasi ilmiah**; cara menuliskan nilai untuk mengakomodir nilai yang terlalu kecil atau terlalu besar

**nukleus**; bagian inti atom yang bermuatan positif karena mengandung proton dan neutron

**ozon**; gas yang terdiri atas tiga atom oksigen, berperan melapisi bumi dari radiasi ultraviolet

**pandemi**; wabah yang terjadi secara serentak yang terjadi pada wilayah geografis yang luas

**paralaks**; perubahan kedudukan suatu penglihatan dalam mengamati suatu objek

**partikulat**; partikel halus dalam suatu padatan

**patogen**; agen yang dapat menyebabkan penyakit

**pemanasan global**; peningkatan suhu rata-rata bumi akibat bertambahnya gas rumah kaca

**pikometer;** satuan panjang yang besarnya satu pertriliun meter

**piknometer**; alat berupa botol kaca yang digunakan untuk mengukur massa jenis suatu larutan

**piramida makanan;** diagram yang menampilkan susunan tingkat tropik satu dengan tingkat tropik lainnya berdasarkan jumlah, massa, atau jumlah energi pada setiap tropiknya

**plantae**; kingdom tumbuhan

**plasma nutfah**; substansi pembawa sifat keturunan yang dapat berupa organ utuh atau bagian dari makhluk hidup atau jasad renik

**polihedral**; salah satu bentuk virus yang memiliki banyak bidang yang tak terhingga

**polisakarida**; karbohidrat yang memiliki polimer yang panjang dan tersusun dari ratusan hingga ribuan monosakarida

**populasi**; kumpulan individu sejenis dalam suatu wilayah tertentu

**postulat**; asumsi yang menjadi pangkal dalil yang dianggap benar tanpa perlu membuktikannya; anggapan dasar; aksioma

**ppm** (*part per million*); menyatakan 1 bagian zat dalam 1 juta bagian campuran

**predasi**; hubungan antara predator dengan mangsanya

**prokariotik**; sel yang tidak memiliki membran inti

**protista**; mikroorganisme eukariotik yang bukan hewan, tumbuhan, atau fungi

**proton**; partikel bermuatan positif yang menyusun atom

**radiasi**; perpindahan panas tanpa media perantara, misalnya panas dari matahari berpindah ke bumi

**rantai makanan**; peristiwa makan dan dimakan

**reaktan**; hasil reaksi (dalam persamaan reaksi kimia ditulis di sebelah kanan anak panah)

**rekayasa genetika**; manipulasi genetik dalam sel untuk menghasilkan suatu sifat yang dikehendaki, kadang-kadang disebut teknologi rekombinan DNA

**replikasi**; proses perbanyakan tubuh virus pada sel inang

**ribosom**; organel sel yang berfungsi dalam proses sintesis protein

**sabana**; ekosistem padang rumput yang diselingi oleh pohon-pohon yang tumbuh tersebar dan sangat jarang

**satuan**; pembanding yang digunakan dalam pengukuran suatu besaran

**satuan internasional (SI)**; sistem satuan internasional yang ditetapkan oleh organisasi standar internasional, yakni *International Bureau of Weights and Measures* (BPIM)

**sel**; unit terkecil dari makhluk hidup

**senyawa**; gabungan unsur dengan perbandingan tertentu yang dibentuk melalui reaksi kimia

**siklus lisogenik**; siklus reproduksi virus yang tidak menyebabkan pecahnya sel inang, tetapi asam nukleat virus tersisip pada sel inang

**siklus litik**; siklus reproduksi virus yang menyebabkan pecahnya sel inang

**siklus materi**; perputaran materi yang terjadi di antara komponen ekosistem

**simbiosis**; interaksi dua jenis makhluk hidup yang hidup bersama

**sinar alfa**; radiasi partikel bermuatan positif, merupakan inti atom helium yang terdiri atas 2 proton dan 2 neutron

**sinar gama**; salah satu spektrum radiasi elektromagnetik berenergi tinggi

**sinar katode**; berkas elektron dalam tabung vakum yang bergerak dari elektrode bermuatan negatif (katode) menuju elektrode bermuatan positif (anode) di ujung lainnya, melintasi perbedaan tegangan antara elektrode

**sirkum Pasifik**; jalur pegunungan yang membentang dari Pegunungan Andes di Amerika Selatan menuju Pegunungan Rocky di Amerika Utara, lalu menuju ke Jepang, kemudian melalui negara-negara di Asia Tenggara seperti Filipina dan Indonesia (Sulawesi)

**sitoplasma**; cairan di dalam sel

**skala nonius**; skala yang berfungsi untuk meningkatkan akurasi pada pengukuran

**skala utama**; skala yang menunjukkan hasil pengukuran awal dan dibaca pertama saat pengukuran

**spektrometer massa**; alat untuk menentukan massa atom atau molekul yang ditemukan oleh Francis William Aston pada tahun 1919

**spektrum**; rentetan warna kontinu yang diperoleh apabila cahaya diuraikan ke dalam komponennya

**spora**; alat reproduksi pada jamur, lumut, dan paku

**stratosfer**; lapisan udara di antara 10–60 km di atas permukaan bumi; lapisan udara di atas troposfer

**taksonomi**; cabang ilmu biologi yang menelaah klasifikasi atau pengelompokan makhluk hidup

**taman nasional**; kawasan pelestarian alam yang mempunyai ekosistem asli, dikelola dengan sistem zonasi yang

dimanfaatkan untuk tujuan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, pariwisata, dan rekreasi

**terapi gen**; suatu teknik terapi untuk memperbaiki gen-gen mutan (abnormal/cacat) yang bertanggung jawab terhadap terjadinya suatu penyakit

**tingkat tropik**; posisi organisme dalam rantai makanan atau jaring-jaring makanan

**titrasi**; metode untuk mengukur kadar suatu zat (cairan) menggunakan zat lain (cairan) yang sudah diketahui kadarnya

**transgenik**; memindahkan gen dari satu makhluk hidup ke makhluk hidup lainnya

**tritium**; isotop radioaktif dari unsur hidrogen yang memiliki 1 proton, 1 elektron, dan 2 neutron

**troposfer**; bagian paling bawah atmosfer bumi yang tingginya dari permukaan bumi berkisar 9–17 km

**unsur**; gabungan atom sejenis

**vaksin**; zat atau senyawa yang berfungsi untuk membentuk kekebalan tubuh terhadap suatu penyakit

**variabel**; setiap karakteristik, jumlah, atau kuantitas yang dapat diukur atau dihitung

**variabel bebas**; variabel yang memberikan pengaruh pada variabel yang lain

**variabel kontrol**; variabel yang dipertahankan tetap

**variabel terikat**; variabel yang nilainya ditentukan atau dipengaruhi oleh variabel lain

**vektor**; agen pembawa

**virion**; istilah yang berarti racun

**virologi**; cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang virus

**viroterapi**; metode pengobatan yang menggunakan replikasi virus sebagai agen antineoplastik yang selektif

**virulensi**; kemampuan dari bibit penyakit untuk menimbulkan penyakit

**virus**; agen infeksius submikroskopis nonseluler yang hanya bereplikasi di dalam sel hidup suatu organisme

**virus onkolitik**; virus yang dimanfaatkan dalam dunia kesehatan untuk melisiskan sel kanker tanpa merusak sel non-kanker

# Daftar Pustaka


_____. “Manfaat Kebiasaan Refleksi Diri bagi Pendidik dan Peserta Didik”. *Kemendikbudristek*, Januari 2023. https://mil-kv.guru.belajar.id/shared-static-assets/Manfaat%20Kebiasaan%20Refleksi%20Diri%20bagi%20Pendidik%20dan%20Peserta%20Didik%20REVISI.pdf diunduh pada 20 November 2023.

Aisyah, Novia. “Mengenal Logam Tanah Jarang, si ‘Harta Karun’ Lumpur Lapindo.” *DetikEdu*, 2022. https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-5917443/mengenal-logam-tanah-jarang-si-harta-karun-lumpur-lapindo/ diunduh tanggal 20 September 2023.

Atmosphere Monitoring Service. “Monitoring of the ozone layer.” Copernicus. https://atmosphere.copernicus.eu/monitoring-ozone-layer, diunduh tanggal 03 Oktober 2023.

Bappenas. “Kolaborasi dalam Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB/SDGS) di Indonesia.” *Bappenas*, 23 Desember 2018. https://sdgs.bappenas.go.id/id/kolaborasi-dalam-mencapai-tujuan-pembangunan-berkelanjutan-tpbsdgs-di-indonesia/ diakses pada 6 November 2023.

Baumann, Brooke. “How Plastics Contribute to Climate Change.” *Climate Science*, 20 Agustus 2019. https://yaleclimateconnections.org/2019/08/how-plastics-contribute-to-climate-change/ diunduh tanggal 03 Oktober 2023 pukul 11.20 WIB.

Buis, Alan. “Examining the Viability of Planting Trees to Help Mitigate Climate Change.” *Feature*, 7 November 2019. https://climate.nasa.gov/news/2927/examining-the-viability-of-planting-trees-to-help-mitigate-climate-change/ diunduh tanggal 03 Oktober 2023.

Burger, P. A. “Origins and Characteristic of Lateritic Deposits.” *Proseding nickel’96* PP 179–183. The Australisian Institute of Mining and Metallurgy. Melbourne, 1996.

Bustomi, M. Isa dan Ambarini NKM. “Kualitas Udara Jakarta Tak Sehat Pagi Ini, Terburuk Kedua di Dunia.” *Kompas*, 17 Oktober 2023. https://megapolitan.kompas.com/read/2023/10/17/07370101/kualitas-udara-jakarta-tak-sehat-pagi-ini-terburuk-kedua-di-dunia/ diunduh tanggal 27 September 2023.

Cahit, H., Selahattin, K., Necip G., Tolga Q., Ibrahim G., Hasan S., Osman P. “Mineralogy and Genesis of the Lateritic Regolith Related Ni-Co Deposit of the Çaldağ area (Manisa, western Anatolia), Turkey.” *Canadian Journal of Earth Science*, 2017.

Carbon Recycling International. “Green Chemistry.” *The Essential Chemical Industry*, 30 Oktober 2018. https://www.essentialchemicalindustry.org/processes/green-chemistry.html/ diunduh tanggal 27 September 2023.

Chang, Raymond. K*imia Dasar Konsep-Konsep Inti*. Jilid 1. Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga, 2003.

Clegg, C.J., Andrew Davis, dan Christopher Talbot. *Biology*. (third edition). United Kingdom: Hodder Education, 2023.

Didin, Ahmad. “Paiton Energy Bangun Tiga Pembangkit Listrik di Kaki Gunung Bromo.” *iNews*, 24 Desember 2023. https://surabaya.inews.id/read/25743/paiton-energy-bangun-tiga-pembangkit-listrik-di-kaki-gunung-bromo diakses pada 6 November 2023.

Eggen, Paul dan Don *Kauchak. Strategi Pembelajaran dan Model Pembelajaran Edisi Keenam*. Jakarta: PT Indeks, 2016.

Faisol, Ahmad, dan Dheri Agriesta. “Dusun Sosokan di Probolinggo Belum Dialiri Listrik, Tak Ada Akses Kendaraan Bermotor.” *Kompas*, 2022. https://surabaya.kompas.com/read/2022/10/27/124354178/dusun-sosokan-di-probolinggo-belum-dialiri-listrik-tak-ada-akses-kendaraan?page=all diakses pada 6 November 2023.

Hananto, Akhyari. “Zhong Zhong dan Hua Hua, Monyet Hasil Kloning ini akan Hidup Menderita?” *Mongabay*, 30 Januari 2018. https://www.mongabay.co.id/2018/01/30/zhong-zhong-dan-hua-hua-monyet-hasil-kloning-ini-akan-hidup-menderita/ diunduh tanggal 30 Maret 2021.

Iqbal, Muhammad.“Paiton Energy Hadirkan PLTMH untuk Dukung Konservasi Energi”. *Times Indonesia*, 24 Desember 2021. https://timesindonesia.co.id/peristiwa-daerah/389214/paiton-energy-hadirkan-pltmh-untuk-dukung-konservasi-energi diakses pada 6 November 2023.

Irawati, Dahlia. “Manfaatkan Mikrohidro, Desa Terpencil di Probolinggo Bisa Menikmati Listrik”. Kompas, 2022. https://www.kompas.id/baca/nusantara/2022/11/05/manfaatkan-mikrohidro-desa-terpencil-di-probolinggo-akhirnya-bisa-menikmati-listrik diakses pada 6 November 2023.

Jones, M. *Biology Coursebook.* 3th Edition. United Kingdom: Cambridge University Press, 2013.

Jones, M., R. Fosbery, J. Gregory, dan D. Taylor. *Cambridge International AS and A Level Biology Coursebook*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

Joshi, Dirgha R. dan Nisha Adhikari, “Research Gate, July, 2019: Green Chemistry Beginning, Recent Progress, and Future Challenges.” *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 8(7): 280–293. DOI:10.20959/wjpps20197-14208. https://www.researchgate.net/publication/334163727_Green_Chemistry_Beginning_Recent_Progress_ And_Future_Challenges/ diunduh tanggal 27 September 2023.

Joyce, Bruce, dkk. *Models of Teaching*. New Jersey: Pearson Education, 2009.

Kotz, J.C., et al. *Chemistry and Chemical Reactivity*. 11th edition. Boston: engage, 2023

Kurniasih, D.A. “Pembelajaran Berdiferensiasi, Solusi Menajamkan Potensi Siswa.” *Tanoto Foundation*, Maret 2019. https://www.pintar.tanotofoundation.org/belajar-diferensiasi-solusi-menajamkan-potensi-siswa/ diakses pada 20 November 2023.

McMurry, J.E. dan Robert C. Fay. *Chemistry*. 5th edition. New Jersey: Pearson Education International, 2008.

Mietzsch, Mario and Mavis Agbandje-McKenna. “The Good That Viruses Do”. *Annual Reviews*, September 2017. https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-vi-04-071217-100011/ diunduh tanggal 18 Maret 2022.

MoEF, 2018. “OECD Green Growth Policy Review of Indonesia 2019.” *OECD*, July 10, 2019. https://www.oecd.org/indonesia/oecd-green-growth-policy-review-of-indonesia-2019-1eee39bc-en.htm/ diunduh tanggal 27 September 2023.

Muliawati, Firda, D. “Pabrik Nikel Menjamur, Investasi di 2023 Tembus Rp39 Triliun.” *CNBC Indonesia*, 07 Agustus 2023. https://www.cnbcindonesia.com/news/20230807134424-4-460812/pabrik-nikel-menjamur-investasi-di-2023-tembus-rp39-triliun/ diunduh tanggal 22 September 2023.

Mzoughi, Taha. ”Measurements, Uncertainty and Significant Figures”. *Libreatext*, 2023. https://phys.libretexts.org/Courses/Georgia_State_University/GSU-TM-Physics_I_(2211)/01%3A_Introduction_to_Physics_and_Measurements/1.03%3A_Measurements_Uncertainty_and_Significant_Figures diakses pada 18 November 2023.

Nagwa. “Lesson Explainer: Mesure de la temperature.” nagwa, 2023. https://www.nagwa.com/en/explainers/247179034286/ diakses pada 2 November 2023.

National Oceanic and Atmospheric Administration. “Explaining El Niño”. pmel.noaa.gov, 2023. https://www.pmel.noaa.gov/elnino/what-is-el-nino diakses pada 10 November 2023.

National Snow and Ice Data Center. “What are the impacts of Arctic sea ice loss?”, *NSDIC*, 27 Oktober 2020. https://nsidc.org/learn/ask-scientist/what-are-impacts-arctic-sea-ice-loss#:~:text=The%20continued%20loss%20of%20Arctic,disturbing%20Arctic%20communities%20and%20ecosystems diakses pada 20 November 2023.

Nebbia, G. and Kauffman, G.B. “Chem Educator, 2007: Prophet of Solar Energy: A Retrospective View of Giacomo Luigi Ciamician (1857–1922), the Founder of Green Chemistry, on the 150th Anniversary of His Birth.” *The Chemical Educator*, 12, 362–369. http://www.gses.it/pub/nebbia-kauffman.pdf/ diunduh tanggal 27 September 2023.

OECD PISA. “PISA Released Items-Science.” *OECD PISA*, December 2006. https://www.oecd.org/pisa/38709385.pdf. / diunduh tanggal 4 Oktober 2023.

Perserikatan Bangsa-bangsa Indonesia. “Tujuan Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia.” *Perserikatan Bangsa-Bangsa Indonesia*, 2023. https://indonesia.un.org/id/sdgs/ diunduh tanggal 27 September 2023.

Reece, J.B. dan Campbell, N.A. *Biology*. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, 2008.

Robertson, Paddy. “What Are the Best Materials for Making DIY Masks?”. 2 April 2020. https://masscentral.com/what-are-the-best-materials-for-making-diy-masks/ diunduh tanggal 20 Maret 2021.

Scripps Research. “Coronavirus Anatomy Explained: Science, Simplified”, 14 Mei 2020. https://www.youtube.com/watch?v=8hgc2iZflTI&lc=UgzrIYFLj4QfcG1emfJ4AaABAg/ diakses tanggal 28 Oktober 2022.

Scripps Research. “How The Novel Coronavirus Infects a Cell: Science, Simplified”, 14 Juli 2020. https://www.youtube.com/watch?v=8hgc2iZflTI&lc=UgzrIYFLj4QfcG1emfJ4AaABAg/ diakses tanggal 28 Oktober 2022.

Setiawan, Anton. “Pijar Setrum Mandiri dari Lereng Argopuro.” Indonesia.go.id, 11 Maret 2023. https://indonesia.go.id/kategori/budaya/6922/pijar-setrum-mandiri-dari-lereng-argopuro?lang=1 diakses pada 6 November 2023.

Silberberg, Martin S. *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change.* 3rd edition. Boston: McGraw-Hill, 2003.

Stewart, Ken. “Significant Figures”. *Brittanica*, 2023. https://www.britannica.com/science/significant-figures diakses pada 25 Agustus 2023.

Sugianto. Pembelajaran “Berdiferensiasi: antara Manfaat dan Tantangannya.” *Kemendikbudristek*, 5 Desember 2022. https://bgpsumsel.kemdikbud.go.id/pembelajaran-berdiferensiasi-antara-manfaat-dan-tantangannya/ diakses pada 20 November 2023.

Sumartiningtyas, Holy Kartika Nurwigati. “Efikasi Vaksin Sinovac 65,3 Persen, Bagaimana Cara Menghitungnya?” *Kompas*, 12 Januari 2021. https://www.kompas.com/sains/read/2021/01/12/135000423/efikasi-vaksin-sinovac-653-persen-bagaimana-cara-menghitungnya/ diunduh tanggal 19 Maret 2021 pukul 20.00 WITA.

Suriyani, Luh De. “Ketekunan Perempuan Peneliti Kultur Jaringan Tanaman Langka dan Endemik di Bali”. *Mongabay*, 29 Maret 2021. https://www.mongabay.co.id/2021/03/29/ketekunan-perempuan-peneliti-kultur-jaringan-tanaman-langka-dan-endemik-di-bali/ diunduh tanggal 19 Agustus 2023.

Syamsidah dan Hamidah Suryani. “Buku Model Problem Based Learning (PBL), Mata Kuliah Pengetahuan Bahan Makanan.” Yogyakarta: Penerbit Deepublish, 2012.

Tingle, Mike. “The Logic of Phlogiston.” *EIC*, 7 January 2014. https://edu.rsc.org/feature/the-logic-o,f-phlogiston/2000126.article/ diunduh tanggal 27 September 2023.

Tro, Nivaldo J. Chemistry: Structure and Properties. 2nd edition. US: Pearson, 2015

Tsai, W.T. “Chlorofluorocarbon.” *Science Direct, Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)*, 2014. https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/freon/ diunduh tanggal 03 Oktober 2023.

United Nations Department of Economic and Social Affairs Statistic Division. “The Sustainable Development Goals Report 2020 page 19.” *United Nations*, September 2020. https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020.pdf/ diunduh tanggal 28 September 2023.

United States Environmental Protection Agency. “Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature”. epa.gov, 2023. https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-surface-temperature diakses pada 10 November 2023.

Usmeldi, R. Amini, S. Trisna. “The Development of Research-Based Learning Model with Science, Environment, Technology, and Society Approaches to Improve Critical Thinking of Students.” JPII 6 (2) (2017) 318-325.

Winter, Mark. “The University of Sheffield.” *WebElements*, 1998. https://www-webelements-com.translate.goog/nickel/isotopes.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_ / diunduh tanggal 20 September 2023.

## Daftar Sumber Gambar

**Kover Bab 1** diunduh dari https://www.freepik.com/free-photo/man-working-mdf-boards-warehouse_25625264.htm#page=2&query=Vernier%20calipers&position=10&from_view=search&track=ais&uuid=dd828d80-eb45-41a2-9f90-faea2d299c2f pada 22 November 2023.

**Gambar 1.1** diunduh dari https://otomotif.kompas.com/read/2021/03/27/130200215/ban-truk-yang-lepas-tiba-tiba-biasanya-akibat-baut-longgar pada 28 November 2023.

**Gambar 1.2** diunduh dari https://pixabay.com/photos/rim-car-tire-chrome-truck-4577/ pada 28 November 2023.

**Gambar 1.3(a)** diunduh dari https://dinkes.surabaya.go.id/portalv2/lakukan-penilaian-lomba-posyandu-dengan-lima-indikator/ diunduh pada 30 November 2023

**Gambar 1.3(b)** diunduh dari https://jatim.tribunnews.com/2018/12/15/harga-bahan-pokok-di-pasar-baru-wadungasri-sidoarjo-merangkak-naik-jelang-natal-dan-tahun-baru pada 30 November 2023.

**Gambar 1.3(c)** diunduh dari https://www.pexels.com/id-id/foto/pangkas-master-menggunakan-penggaris-selama-bekerja-5973882/ pada 30 November 2023.

**Gambar 1.4(a)** diunduh dari https://sciencing.com/mass-triple-beam-balance-7783011.html pada 30 November 2023.

**Gambar 1.4(b)** diunduh dari https://www.freepik.com/free-photo/portrait-fashion-designer-taking-measurement-his-customer-s-chest-his-workshop_4753077.htm#page=2&position=34&from_view=collections&uuid=b42f9b4b-a70a-4038-b333-1800d69f9fdc pada 30 November 2023.

**Gambar 1.4(c)** diunduh dari https://www.pexels.com/photo/gold-locket-watch-277460/ pada 7 Januari 2021.

**Gambar 1.4(d)** diunduh dari https://pixabay.com/id/photos/termometer-suhu-pengukuran-869392/ pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.4(e)** diunduh dari https://unsplash.com/photos/black-and-red-digital-device-g8Pr-LbVbjU pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.4(f)** diunduh dari https://www.pexels.com/photo/a-person-holding-a-light-meter-7205903/ pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.4(g)** diunduh dari https://pixabay.com/id/photos/jangka-sorong-alat-ukur-skala-nonius-452987/ pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.4(h)** diunduh dari https://www.pexels.com/photo/black-car-instrument-cluster-panel-945443/ pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.4(i)** diunduh dari https://pixabay.com/id/photos/sphygmomanometer-5573659/ pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.6** diunduh dari https://pixabay.com/id/photos/mur-dan-baut-baut-sekrup-6932894/ pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.20(a)** diunduh dari https://pixabay.com/id/photos/peduli-peralatan-demam-flu-kaca-2285/ pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.20(b)** diunduh dari https://pixabay.com/id/photos/teknologi-suhu-tampilan-suhu-3094663/ diunduh pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.20(c)** diunduh dari https://pixabay.com/id/photos/hentikan-jam-laboratorium-fisika-1210480/ diunduh pada 7 Januari 2024.

**Gambar 1.22** diunduh dari https://www.pexels.com/id-id/foto/mur-mendaur-ulang-tumpukan-daur-ulang-5279361/ pada 7 Januari 2024.

**Kover Bab 2** diunduh dari https://www.freepik.com/free-psd/coronavirus-structural-morphology_22741121.htm#query=coronavirus&position=49&from_view=search&track=sph&uuid=053ed6e3-232f-43e3-89f0-0338bd98bdaf pada 20 November 2023.

**Gambar 2.10** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Talimogene_laherparepvec_MOA.jpg pada 10 Desember 2023.

**Kover Bab 3** diunduh dari https://www.freepik.com/free-photo/full-shot-woman-holding-groceries_29382534.htm#page=5&query=electric%20vehicles&position=30&from_view=search&track=ais&uuid=0ad4dbdc-6a0e-4adf-ac59-51699b3051b1 pada 20 November 2023.

**Gambar 3.2** diunduh dari https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-d%3A3bec48ef17815fec01ae1a9550dbce93a9e5471c2418ed3cee0ea05d%2BIMAGE_THUMB_POSTCARD_TINY%2BIMAGE_THUMB_POSTCARD_TINY.1 pada 23 November 2023.

**Gambar 3.5** diunduh dari https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1b/Geiger-Marsden_experiment.svg/666px-Geiger-Marsden_experiment.svg.png?20140415102609 pada 23 November 2023.

**Gambar 3.11** diunduh dari https://sciencenotes.org/wp-content/uploads/2018/05/PeriodicTableMuted2018.png pada 23 November 2023.

**Gambar 3.22** diunduh dari https://as1.ftcdn.net/v2/jpg/03/69/12/62/1000_F_369126270_yd9DcLIH7ILiSFOKt2FtnYxYrerno1uc.jpg pada 23 November 2023.

**Gambar 3.23** diunduh dari https://www.thoughtco.com/thmb/gDP0rdsIfci8qIznhAZ6Ght-bH0=/750x0/filters:no_upscale():max_bytes(150000):strip_icc():format(webp)/PeriodicTable_AtomSizes-56a131193df78cf772684720.png pada 23 November 2023.

**Gambar 3.24** diunduh dari https://docs.google.com/document/d/14Fpu6y3E-zh4gAwB4HVA3Wbm9NVX2vYYYjcscBIRG2g/edit pada 23 November 2023.

**Gambar 3.26** diunduh dari https://uwaterloo.ca/chem13-news-magazine/sites/ca.chem13-news-magazine/files/uploads/images/electron-affinity-page_4-feb-2013.jpg pada 23 November 2023.

**Gambar 3.28** diunduh dari https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6d/Lumpur_Lapindo_Sidoarjo_-_panoramio.jpg/1600px-Lumpur_Lapindo_Sidoarjo_-_panoramio.jpg pada 24 November 2023.

**Kover Bab 4** diunduh dari https://www.freepik.com/free-photo/building-construction-work-site_20517694.htm#page=6&query=coal%20mining&position=46&from_view=search&track=ais&uuid=84d30e2b-03dc-4500-97ca-5ca0e6372ef6 pada 25 November 2023.

**Gambar 4.10** diunduh dari https://www.freepik.com/free-ai-image/colorful-fish-swim-idyllic-underwater-reef-generated-by-ai_41151232.htm#page=2&query=underwater&position=14&from_view=search&track=sph&uuid=69c5461b-1e4d-4210-b534-f7f6e1057b35 pada 26 November 2023.

**Kover Bab 5** diunduh dari https://www.freepik.com/free-ai-image/factory-producing-co2-pollution_72617733.htm#page=3&query=air%20pollution&position=18&from_view=search&track=ais&uuid=3bb5b06c-9c25-4a67-90af-a71f0221c9c0 pada 26 November 2023.

**Gambar 5.6** diunduh dari https://sciencenotes.org/wp-content/uploads/2018/05/PeriodicTableMuted2018.png pada 23 November 2023.

**Gambar 5.10** diunduh dari https://sdgs.bappenas.go.id/website/wp-content/uploads//2023/12/Goal-16.svg pada 24 November 2023.

**Gambar 5.12** diunduh dari https://www.oecd.org/media/oecdorg/directorates/environmentdirectorate/2019-1/GGPR-Indonesia-Figure-2-GHGs-v2-650x325.png pada 24 November 2023.

**Gambar 5.13** diunduh dari https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2020/07/E_infographics_14.pdf diunduh pada 24 November 2023.

**Gambar 5.14** diunduh dari https://www.essentialchemicalindustry.org/images/stories/060_green/15-Green%20Fig%205%20toms.jpg pada 24 November 2023.

**Kover Bab 6** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jalak_Bali_Taman_Nasional_Bali_Barat.jpg pada 26 November 2023.

**Gambar 6.2** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ripe_plantains.jpg pada 7 Desember 2023 dan https://commons.wikimedia.org/wiki/File:0706jfMaharlika_Highway_Cagayan_Market_San_Ildefonso_Bulacanfvf_10.JPG pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.3** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr-140925-1943-Musa_balbisiana-fruit-Pali_o_Waipio_Huelo-Maui_(25246502475).jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.4** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palawan,_Philippines,_Tropical_forest.jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.5** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anoa_Bubalus_depressicornis_Surabaya_Zoo.jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.6** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rhinoceros_sondaicus_in_London_Zoo.jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.7** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paradisaea_apoda_(male)_-KL_Bird_Park-8a.jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.8** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pandanus_Conoideus_Eastern_Highlands_PNG.jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.9** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Santalum_album_flowers_02.JPG pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.10** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Curcuma_longa_roots.jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.11** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dead_Belian_or_Bornean_Ironwood_(Eusideroxylon_zwageri)_covered_with_epiphytes_..._(23652830926).jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.12** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:E._coli_Bacteria_(7316101966).jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 6.13** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paramecium.jpg pada 7 Desember 2023.

**Kover Bab 7** diunduh dari https://www.freepik.com/free-photo/view-bioengineering-advance-with-human-hands_57314142.htm#query=renewable%20energy&position=0&from_view=search&track=ais&uuid=593c4945-41a8-4500-8662-ad1b3eaa7ec1 pada 26 November 2023.

**Gambar 7.1** diunduh dari earth.google.com pada 6 November 2023.

**Gambar 7.4(a)** diunduh dari https://ebtke.esdm.go.id/post/2018/02/01/1872/selain.sidrap.berikut.pembangkit.listrik.tenaga.angin.yang.ditargetkan.segera.beroperasi pada 6 November 2023.

**Gambar 7.4(b)** diunduh dari https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/06/23/2892/implementasi.cofiring.pltu.tingkatkan.economic.scale.biomassa?lang=en pada 6 November 2023.

**Gambar 7.5** diunduh dari https://www.reuters.com/article/cbusiness-us-indonesia-coal-idCABRE9901BN20131001/ pada 6 November 2023.

**Gambar 7.6** diunduh dari https://surabaya.inews.id/read/25743/paiton-energy-bangun-tiga-pembangkit-listrik-di-kaki-gunung-bromo pada 6 November 2023.

**Gambar 7.7** diunduh dari https://sdgs.bappenas.go.id/kolaborasi-dalam-mencapai-tujuan-pembangunan-berkelanjutan-tpbsdgs-di-indonesia/ pada 6 November 2023.

**Gambar 7.8** diunduh dari https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2022-power-generation-capacity-mw/ pada 6 November 2023.

**Gambar 7.9** diunduh dari https://www.voaindonesia.com/a/petani-dieng-gigih-menolak-proyek-pltp-geo-dipa-energi/6805886.html pada 6 November 2023.

**Kover Bab 8** diunduh dari https://www.freepik.com/free-photo/cloudy-nature-landscape-by-lake_26324442.htm#page=5&query=climate%20change&position=45&from_view=search&track=ais&uuid=c89b9ca3-c57d-4482-9e54-35e6bdbcf6c0 pada 29 November 2023.

**Gambar 8.1(a)** diunduh dari https://bnpb.go.id/berita/Bencana%20Hidrometeorologi%20Masih%20Terjadi%20Jelang%20Akhir%20Juni%202020 pada 6 November 2023.

**Gambar 8.5 dan 8.6** diunduh dari https://nsidc.org/arcticseaicenews/ pada 9 Desember 2023.

**Gambar 8.7, 8,8, dan 8.9** dipindai dari Milton, Debbie. “El Nino 2015-16”. Geo Factsheet. UK: Curriculum Press. 2017.

**Gambar 8.10** diunduh dari https://tekno.tempo.co/read/1743316/kebakaran-hutan-di-kalimantan-selatan-capai-205-hektare-ada-2-521-titik-api pada 15 Desember 2023.

**Gambar 8.11** diunduh dari https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green_Sea_Turtle_grazing_seagrass.jpg pada 7 Desember 2023, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Krill666.jpg pada 7 Desember 2023, dan https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Terumbu_karang_nemo.jpg pada 7 Desember 2023.

**Gambar 8.12** diunduh dari https://scrippsco2.ucsd.edu/graphics_gallery/mauna_loa_record/mauna_loa_record.html pada 2 Desember 2023.

**Gambar 8.13** diunduh dari http://fisika.fmipa.um.ac.id/pengembangan-greenhouse-untuk-optimasi-hasil-produksi-tanaman-kelompok-tani-cemara-hijau-farm-chf/ pada 15 Desember 2023.

**Gambar 8.14** diunduh dari https://www.dcceew.gov.au/climate-change/policy/climate-science/understanding-climate-change pada 29 November 2023.

**Gambar 8.17** diunduh dari https://static.gatra.com/foldershared/images/2019/fatikhin/09-Sep/sampah_plastik.jpg pada 2 Desember 2023.

**Gambar 8.21** diunduh dari https://climate.nasa.gov/internal_resources/1958/pada 2 Desember 2023.

**Gambar 8.24** diunduh dari https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=ekstrem-perubahan-iklim 18 Desember 2023.

# Indeks


## A

abiotik 199, 200, 202, 275
aerob 259, 275
aerosol 251, 275
afinitas elektron 68, 97, 102, 103, 104, 105, 107, 110, 275
amfifilik 58, 275
anaerob 120, 259, 275
angka pasti 24, 275
angka penting 2, 3, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 34, 275
angka taksiran 24, 25, 275
animalia 189, 275
anion viii, 83, 103, 104, 105, 275
antibiosis 275
antibodi 53, 58, 59, 275, 278
antivirus 59, 275
asam nukleat 44, 45, 46, 48, 49, 62, 275, 280
atom 8, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 115, 116, 117, 119, 121, 125, 126, 128, 129, 132, 133, 135, 136, 140, 141, 158, 159, 160, 161, 162, 247, 250, 251, 252, 253, 255, 261, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281

## B

bakteriofag 45, 60
basilus 191, 275
besaran pokok 6, 8, 9, 34, 121, 275, 276
besaran turunan 6, 8, 9, 32, 34, 40, 275, 276
bilangan Avogadro 121, 129, 275
bilangan kuantum 90, 275
biodiesel 153, 164, 165, 275
biogas 216, 225, 275
biopestisida 53, 62, 276
bioremediasi 194, 196, 276
bioteknologi 42, 54, 174, 175, 194, 276
biotik 199, 200, 202, 276
Bohr viii, 68, 89, 90
buret 39

## C

cagar alam 183, 276
Covid-19 iv, 8, 43, 44, 47, 51, 53, 55, 56, 57, 59, 64, 65, 66, 276, 278
cuaca 233, 234, 239, 240, 242, 244, 265, 275, 276

## D

Dalton v, viii, 68, 71, 72, 73, 116, 117, 125, 126, 128, 129, 135, 137
deuterium 85, 276
diatomik 98, 276
dimensi iv, xii, 8, 9, 87, 98, 99, 127, 130, 140, 214, 215, 275, 276
DNA 42, 45, 59, 186, 194, 275, 276, 280
dolomit 141, 276
droplet 58, 62, 64, 65, 276

## E

efikasi 55, 56, 276, 285
ekosistem ix, 52, 167, 169, 170, 174, 175, 176, 177, 178, 181, 182, 183, 199, 200, 202, 203, 204, 235, 244, 245, 252, 260, 265, 275, 276, 277, 280
eksitasi 89, 276
ekskresi 145, 276
elektrolisis 154, 276
elektron 8, 44, 51, 68, 73, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90,

91, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 113, 128, 275, 276, 277, 278, 280, 281
elektronegativitas 97, 105, 106, 107, 108, 109, 276
elektron valensi 91, 92, 93, 94, 96, 97, 100, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 276
el nino 276
endemik 175, 179, 180, 184, 276, 285
energi ionisasi 68, 97, 100, 101, 102, 103, 110, 276
eukariotik 189, 192, 276, 277, 280

## F

famili 186, 276
fermentasi 120, 275, 276
flogiston 123, 124, 125, 126, 127, 277
fosil 86, 153, 155, 158, 164, 215, 225, 245, 247, 249, 269, 277
fotokimia 156, 277
freon x, 250, 251, 277, 285
fungi 174, 195, 196, 197, 198, 277, 278, 280

## G

gas mulia 94, 103, 104, 107, 277
gas rumah kaca 137, 152, 154, 168, 218, 247, 248, 249, 250, 259, 260, 264, 265, 270, 271, 277, 279
gas tertawa 135, 136, 277
Gay Lussac 116, 137, 138, 139
gelombang 89, 217, 235, 237, 247, 248, 268, 277
gen ix, 52, 53, 62, 176, 177, 194, 204, 277, 281
gen terapeutik 53, 277
geologi 246, 277
geotermal 152, 153, 154, 217, 228, 277
gletser 236, 237, 245, 277

## H

heterotrof 189, 195, 277
hewan asiatis 179
hewan australis 179
hidrokarbon 215, 253, 254, 277
hidronium 146, 277
hifa 189, 195, 277, 279
hipotesis 198, 277
hutan bakau 177, 277
hutan hujan tropis 177, 178, 181, 182, 183, 277
hutan lindung 183, 277
hutan mangrove 178, 277

## I

iklim iv, x, 155, 167, 178, 231, 232, 233, 234, 239, 241, 242, 244, 245, 246, 249, 250, 252, 253, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 271, 273, 274, 277, 290
inert 94, 97, 104, 254, 277
insulin 53, 54, 55, 62, 63, 194, 277
inti atom 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 87, 88, 90, 98, 102, 104, 107, 108, 109, 128, 275, 277, 279, 280
ion 83, 84, 86, 87, 102, 103, 104, 105, 107, 109, 110, 141, 145, 146, 147, 275, 277, 278
isotop 85, 86, 87, 109, 113, 276, 277, 281

## J

jangka sorong 10, 11, 12, 14, 16, 24, 25, 27, 28, 29, 36
jari-jari atom 68, 97, 98, 99, 100, 103, 104, 105, 106, 107, 110, 277
jaring-jaring makanan 199, 200, 201, 205, 278, 281

## K

kalor 212, 225, 278
kalor jenis 212, 278
kanker 52, 53, 65, 66, 252, 255, 278, 281
kapsid 44, 48, 62, 63, 278
kapsomer 45, 278
karsinogenik 155, 278
katalis 152, 158, 261, 278
kation 83, 278
kimia hijau xiv, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 157, 159, 163, 164, 165, 167, 168, 170, 172, 252, 270, 271, 278

kingdom ix, 186, 187, 189, 191, 195, 197, 275, 278, 279
kloning 183, 184, 278, 283
koefisien reaksi 119, 120, 121, 138, 161, 162, 255, 278
konfigurasi elektron 90, 91, 92, 93, 97, 108, 110, 278
koronavirus 43, 46, 47, 48, 50, 51, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 278
kultur jaringan 183, 184, 278

## L

labu ukur 21, 39
la nina 278
laterit 69, 71, 117, 140, 141, 278
Lavoisier 85, 116, 126, 127, 128, 131, 247
limfosit 53, 58, 278
lipid 58, 193, 278
lisis 50, 65, 66, 278
logam tanah jarang 111, 112, 278

## M

massa atom relatif 128, 129, 133, 278
massa jenis 21, 40, 279
massa molekul relatif 128, 129, 278
materi genetik 63, 278
membran mukosa 57, 278
membran sel 46, 48, 192, 278
metaloid 95, 97, 278
mikoriza 197, 198, 278
mikrohidro ix, 220, 278, 283
mikrometer 8, 13, 14, 16, 36, 278
mikroplastik 256, 279
mikroskop elektron 44, 51
mikroskopis 44, 188
miselium 195, 279
mitigasi 260, 262
mol viii, 7, 101, 103, 104, 107, 121, 129, 130, 138, 275, 276, 279
molekul 65, 72, 98, 107, 117, 119, 121, 128, 129, 130, 140, 158, 160, 161, 162, 251, 252, 270, 275, 276, 277, 278, 279, 280
molekul senyawa 161, 279
molekul unsur 161, 251, 279
monera 191, 279
multiseluler 189, 195
mutagenik 155, 279

## N

nanometer 44, 279
nanoteknologi 112, 279
neraca empat lengan vii, 17, 18
neutron 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 85, 86, 87, 108, 109, 110, 113, 128, 275, 276, 277, 279, 280, 281
nomor atom 81, 82, 83, 84, 86, 87, 92, 93, 94, 97, 102, 105, 108, 110, 129, 159, 279
nomor massa 83, 87, 93, 94, 108, 110, 128, 159, 279
notasi ilmiah 2, 8, 26, 279
nukleus 79, 80, 279

## O

ozon 155, 161, 251, 252, 270, 279

## P

pandemi iv, 43, 44, 53, 58, 66, 279
paralaks 37, 279
partikel subatom 67, 73, 77, 78, 79, 80, 81, 84
partikulat 253, 254, 279
patogen 53, 58, 59, 193, 197, 276, 279
pemanasan global 137, 152, 232, 246, 255, 256, 257, 258, 259, 265, 270, 271, 279
pestisida 155, 183, 276
piknometer 21, 279
pikometer 100, 279
pipet volumetrik 21, 39
piramida makanan 279
plantae 186, 189, 279
plasma nutfah 182, 204, 279
polihedral 45, 279
polisakarida 193, 279
polutan 135, 136, 151, 256, 276
populasi 43, 175, 181, 183, 184, 203, 205, 244, 245, 250, 253, 279
postulat 89, 125, 126, 279
predasi 202, 279

prokariotik 188, 192, 279, 280
protein reseptor 48
protista 181, 186, 188, 280
proton 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 100, 102, 107, 108, 109, 113, 128, 275, 276, 277, 279, 280, 281

## R

radiasi 77, 89, 247, 248, 252, 279, 280
rantai makanan 199, 200, 201, 203, 278, 280, 281
reaktan 117, 161, 280
refrigeran 251
rekayasa genetika 53, 280
replikasi 42, 48, 49, 50, 53, 59, 275, 280, 281
rumah kaca x, 137, 152, 154, 168, 171, 218, 232, 247, 248, 249, 250, 251, 259, 260, 264, 265, 269, 270, 271, 277, 279
Rutherford viii, 68, 74, 75, 76, 77, 85, 88, 90

## S

sabana 177, 178, 280
satuan iii, 2, 3, 6, 8, 9, 19, 22, 26, 27, 34, 79, 80, 100, 120, 121, 128, 129, 130, 138, 213, 215, 247, 275, 278, 279, 280
satuan internasional 6, 121, 280
sel ix, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 62, 63, 65, 66, 188, 189, 192, 193, 195, 216, 276, 277, 278, 280, 281
sel inang 44, 45, 48, 49, 50, 53, 58, 63, 280
senyawa 72, 85, 116, 119, 121, 125, 126, 134, 135, 136, 137, 139, 141, 142, 143, 145, 159, 161, 200, 215, 247, 250, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 276, 277, 278, 279, 280, 281
siklus lisogenik 48, 49, 280
siklus litik 48, 49, 50, 63, 280
siklus materi 200, 280
silinder ukur 20, 21
simbiosis 196, 197, 198, 202, 280
sinar alfa 74, 280
sinar gama 77, 280
sinar katode 73, 280
sintesis 50, 59, 158, 280
sitoplasma 46, 48, 192, 195, 280
skala utama 10, 12, 14, 15, 16, 280
spektrum 87, 88, 89, 90, 280
spora 189, 195, 277, 280
stratosfer 251, 252, 280

## T

taksonomi 186, 195, 280
taman nasional 183, 280
termometer vii, 19, 20, 199, 286
Thomson vii, viii, 68, 73, 74, 75, 77
tingkat trofik 200, 201, 202, 203
titrasi 281
transgenik 194, 281
tritium 85, 86, 281
troposfer 252, 280, 281
turbin 216, 217, 220, 228

## U

uniseluler 192, 195
unsur 68, 69, 72, 75, 77, 78, 81, 82, 84, 85, 86, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 116, 117, 126, 127, 129, 133, 134, 135, 137, 141, 143, 159, 160, 161, 162, 196, 198, 202, 250, 251, 259, 261, 276, 277, 278, 279, 280, 281

## V

vaksin 42, 53, 55, 56, 58, 59, 62, 194, 281, 285
variabel 33, 55, 196, 198, 217, 281
variabel bebas 33, 55, 196, 198, 281
variabel kontrol 33, 281
variabel terikat 33, 55, 281
vektor 52, 245, 281
virion 44, 281
virologi 52, 281
virulensi 48, 281
virus DNA 45
virus onkolitik 65, 66, 281
virus RNA 45, 47

# Profil Pelaku Perbukuan

## Profil Penulis




Nama Lengkap : Niken Resminingpuri Krisdianti
Email : niken@smasantamaria1.sch.id
Instansi : SMA Santa Maria 1 Bandung
Alamat Instansi : Jalan Bengawan no. 6, Cihapit, Bandung
Bidang Keahlian : Fisika


**Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):**

1. SMA Kristen Pelita Bangsa Bandung (2016–2017)
2. SMA Negeri 17 Bandung (2017–2018)
3. SMA Santa Maria 1 Bandung (2018–sekarang)

**Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:**

1. Magister Fisika Institut Teknologi Bandung (2019 – 2022)
2. Sarjana Pendidikan Fisika Universitas Pendidikan Indonesia (2013 – 2017)

**Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

Tidak ada

**Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

Tidak ada

## Profil Penulis




Nama Lengkap : Elizabeth Tjahjadarmawan, S.Si., M.Pd
Email : gurukimiadigital2020@gmail.com
Instansi : SMA Xaverius 1 Kota Jambi
Alamat Instansi : Jalan A.R. Saleh 19 Kel. Thehok, Kec. Jambi Selatan, Kota Jambi
Bidang Keahlian : Kimia


**Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):**

1. Guru kimia di SMA Xaverius 1 Jambi
2. Kepala Laboratorium Kimia SMA Xaverius 1 Jambi
3. Pengajar Praktik Program Guru Penggerak Angkatan 9
4. Narasumber pada *In House Training* Kurikulum Merdeka
5. Pembina Olimpiade Sains Kimia SMA Provinsi Jambi
6. Pembina Olimpiade Sains IPA SD Provinsi Jambi
7. Penulis Buku Pelajaran dan Nonpelajaran

**Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:**

1. Benchmark Pendidikan, Kemdikbud, Korea Selatan dan Jepang (2015)
2. Shortcourse Education, Auckland, New Zealand (2009)
2. Magister Teknologi Pendidikan, Universitas Jambi (2007)
3. Sarjana Kimia, Institut Pertanian Bogor (1994)

**Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

1. *Bioplastic Wrap* dalam Pembelajaran Proyek. Sukabumi: Haura (2023)
2. Asah Literasi-Numerasi ala Pembelajaran Proyek Kimia dalam AKM Kelas. Sukabumi: Haura (2023)
3. *Green Projects* dalam Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila Sekolah Penggerak. Banyumas: Omera Pustaka (2022)
4. Buku Siswa dan Buku Guru IPA Kelas X. Jakarta: Kemenristekdikti (2021)
5. Belajar dari Rumah; Catatan Kimia dari Dapur. Yogyakarta: Parama Ilmu (2020)
6. Guru, Kepala Sekolah, dan Pengawas Penggerak dalam Best Practice. Yogyakarta: Parama Ilmu (2020)

**Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**
Pemakalah Terbaik Best Practice Guru: Mendulang Medali OSN Kimia. Best Practice Guru dalam Tugas Pembelajaran di Sekolah, Pusbangprodik Kemdikbud (2013).

**Informasi Lain:**
1. Peraih Medali Perak OSN Guru Mapel Kimia, Pusbangprodik Kemdikbud 2013
2. YouTube: Elizabeth Tjahjadarmawan

## Profil Penulis


Nama Lengkap : Ayuk Ratna Puspaningsih, S.Pd., M.Pd.
Email : bi.jegeg@gmail.com
Instansi : SMA Negeri Bali Mandara
Alamat Instansi : Jln. Air Sanih, Kubutambahan, Buleleng, Bali
Bidang Keahlian : Biologi




**Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):**
1. Guru Biologi di SMA Negeri Bali Mandara (2011–sekarang)
2. Duta Sains Tahun 2019 PPPPTK IPA
3. Penyusun CP Biologi, ATP Biologi, dan buku IPA SMA Kelas X
4. Pengajar Praktik Baik Angkatan I Program Guru Penggerak
5. Fasilitator Guru Penggerak Angkatan 6 dan 9 Program Guru Penggerak
6. Instruktur Calon Pengajar Praktik Program Guru Penggerak
7. Narasumber pada Bimtek Calon Instruktur, Calon Pelatih Ahli dan Fasilitor Sekolah Penggerak
8. Fasilitator pada beberapa kegiatan pengembangan profesi guru

**Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:**
1. Magister Pendidikan Sains, Universitas Pendidikan Ganseha (2009–2011)
2. Sarjana Pendidikan Biologi, Universitas Pendidikan Ganesha (2005–2009)

**Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

1. Pengembangan UKBM berbasis *Computational Thinking* pada Materi Metabolisme Tahun 2022
2. *Paper Presenter* pada *International Joint Conference on STEM Education* Tahun 2020: *Implementation of STEM based ILU on Respiratory System*
3. Pemakalah Terbaik Kedua Simposium Nasional PPPPTK IPA Tahun 2019: Implementasi *Biology Interactive Notebook* dalam *Flipped Classroom* pada Materi Metabolisme
4. Finalis Inobel Katagori SMA Tahun 2018: Pengembangan *Screencast* dalam Pembelajaran Biologi pada *Flipped Classroom*

## Profil Penelaah



Nama Lengkap : Prof. Dr. Anna Permanasari, MSi.
Email : anna.permanasari@unpak.ac.id
Instansi : Universitas Pakuan Bogor
Alamat Instansi : Jln. Pakuan No. 1 Ciheuleut Bogor
Bidang Keahlian : Pendidikan Kimia

**Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):**

1. Dosen Pendidikan Kimia UPI (1983-2021)
2. Dosen Pendidikan IPA UNPAK (2021-sekarang)
3. Ketua Perkumpulan Pendidik IPA Indonesia (PPII)
4. President of East Asia Science Education (EASE)

**Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:**

1. S1 Pendidikan Kimia, IKIP Bandung (1978–1982)
2. S2 Kimia, ITB (1990–1992)
3. S3 Kimia, ITB (1995–2000)

**Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

1. Kimia Analitik II (Penerbit Universitas Terbuka, 2014)
2. Kimia Analitik Instrumen (Penerbit Universitas Terbuka, 2017)
3. Beberapa *book chapter* dengan tema literasi sains, pembelajaran berbasis STEM

**Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

1. STEM-ESD untuk pembelajaran sains abad ke-21 (2017–sekarang)
2. Low Carbon Education (2019–sekarang)
3. Pengembangan web Rumah Sains untuk meningkatkan kompetensi abad ke-21 (2023–2025)
4. Model TBLA (*Transcript Based Lesson Analysis*) untuk meningkatkan kualitas pembelajaran Sains (2019–2022)

## Profil Penelaah




Nama Lengkap : Prof. Ir. Wahyu Srigutomo, S.Si., M.Si., Ph.D.
Email : srigutomo@itb.ac.id
Instansi : FMIPA Institut Teknologi Bandung
Alamat Instansi : Jl. Ganesha 10 Bandung
Bidang Keahlian : fisika, komputasi numerik, esplorasi geofisika & kebumian


**Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):**

1. Guru Besar (Professor): 2020–sekarang
2. Lektor Kepala (Associate Professor): 2009–2020
3. Asisten Ahli (Assistant Professor): 1997–2009
4. Eksplorasi sumber daya alam (tim lapangan, tim ahli, dan konsultan): sejak 1995

**Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:**

1. Profesi Insinyur (PSPPI – FTTM ITB): 2020–2021
2. Doktor (Geophysics, The University of Tokyo, Japan): 1999–2002
3. Magister (Fisika, FMIPA ITB): 1995–1997
4. Sarjana (Fisika, FMIPA ITB): 1989–1995

**Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

1. Wahyu Srigutomo & I Gede Putu Fadjar Soerya Djaja, Prinsip Dasar dan Interpretasi Numerik Metode Seismik Refraksi, Penerbit Erlangga, 2020, ISBN 978-602-4868-05-5.

2. Tim Penulis, Meneliti Itu Seru!!!, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Atas, Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2018, ISBN 978-602-5616-08-2.
3. Sungkono, Erna Apriliani, Saifuddin, Fajriani, Wahyu Srigutomo, Book Chapter: Self-Potential Method: Theoretical Modeling and Applications in Geosciences - Ensemble Kalman Inversion for Determining Model Parameter of Self-potential Data in the Mineral Exploration, Switzerland, 2021, Springer Geophysics, ISBN 978-303-0793-33-3.
4. Wahyu Srigutomo, Penerapan Metode-Metode Elektromagnetik Kebumian di Indonesia, Tantangan dan Potensi Pengembangannya, Bandung, 2022, Forum Guru Besar ITB, ISBN 978-602-6624-60-4.

**Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

1. Sufyana C.M., Akbar F.T., Srigutomo W., Thermal Modeling and Simulation of a Single-Flash Geothermal Power Plant Involving Non-Condensable Gas: A Case Study of Kamojang Geothermal Field in Garut, West Java, Indonesia (2023) Geothermal Energy, 11 (1), art. no. 6.
2. Nurhasan, Rizqia M.N., Hidayat, Setiawan A., Gumelar F., Fitriani D., Sutarno D., Mustopa E.J., Srigutomo W., Rusdiana R., Identification of Geological Structure Based on Gravity Method in Tangkuban Parahu Volcano, Bandung, Indonesia (2023) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1159 (1), art. no. 012006.
3. Susilawati A., Niode M., Surmayadi M., Pratomo P.M., Nurhasan, Mustopa E.J., Sutarno D., Srigutomo W., Resistivity and Density Structure of Limboto Lake—Pentadio, Gorontalo, Indonesia Based on Magnetotelluric and Gravity Data (2023) Applied Sciences (Switzerland), 13 (1), art. no. 644.
4. Kuncoro A.K., Srigutomo W., Fauzi U., Coseismic Deformation Responses due to Geometrical Structure and Heterogeneity of the Accretionary Wedge: Study Case 2010 Mentawai Earthquake, West Sumatra, Indonesia (2023) International Journal of Geophysics, 2023, art. no. 5507264.
6. Dan lain-lain.

**Informasi Lain:**

Publikasi lengkap dapat diakses di Google Scholar:
https://scholar.google.co.id/citations?user=M1zWR9oAAAAJ&hl=en&oi=ao

## Profil Penelaah




Nama Lengkap : Prof. Dr. Ari Widodo, M. Ed.
Email : widodo@upi.edu
Instansi : Universitas Pendidikan Indonesia
Alamat Instansi : Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung
Bidang Keahlian : Pendidikan IPA/Pendidikan Biologi


**Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):**

Dosen Universitas Pendidikan Indonesia (IKIP Bandung) sejak 1992

**Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:**

1. S1: IKIP Bandung, lulus tahun 1991
2. S2: Deakin University, Australia, lulus tahun 1996
3. S3: Kiel University, Jerman, lulus tahun 2004

**Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

1. Duit, R., Treagust, D.F. & Widodo, A. (2013). Teaching Science for Conceptual Change. in S. Vosniadou (Ed.). International Handbook of Research on Conceptual Change (Second Edition). New York: Routledge.
2. Widodo, A., Rochintaniawati, D. & Riandi. (2016). Indonesia. in B. Vlaardingerbroek and N. Taylor (Eds.). Teacher Quality in Upper Secondary Science Education. New York: Palgrave Macmillan.
3. Widodo, A. (2021). Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam: Dasar-Dasar untuk Praktik. Bandung: UPI Press.

**Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

1. Empowering Teacher's Pedagogical Content Knowledge (PCK) to Improve Student's Achievement and Reasoning Skills
2. Facilitating STEM Education in Indonesian Schools using Open-Source Environmental Sensors (Maker Motes)
3. Teacher Education for Education for Sustainable Development
4. Promoting Teacher Education for Climate Change Education through Collaboration between Asian Centres of Excellence on Education for Sustainable Development

**Informasi Lain:**
Publikasi lengkap dapat diakses di Google Scholar:
https://scholar.google.co.id/citations?user=6g4ETNsAAAAJ&hl=en

## Profil Ilustrator



Nama Lengkap : Yul Chaidir
Email : zul.illustrator@gmail.com
Instagram : yul_c_illustrator
Alamat Rumah : Pedongkelan Belakang RT 002/RW 013, No. 73, Kapuk, Cengkareng, Jakarta Barat
Bidang Keahlian : Illustrasi dan Animator

**Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):**
1. llustrator, PT Kompas Gramedia, 2009–2011 (Pekerja Lepas)
2. llustrator, PT Zikrul Hakim-Bestari, 2011–2016 (Staf Ilustrator)
3. Ilustrator Lepas, 2016 hingga sekarang

**Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar:**
SMEA 6 PGRI, Tahun 1991

**Karya/Pameran/Eksibisi dan Tahun Pelaksanaan (10 tahun terakhir):**
1. Seri Pengetahuanku; Ruang Angkasa, Zikrul-Bestari (2014)
2. Fabel; Komik, Nectar-Zikrul-Bestari (2015)
3. Seri Kesatria Cilik, Tiga Serangkai (2015)
4. Seri Nabi-Nabi Ulul Azmi, Ziyad Publishing (2015)
5. 30 Dongeng Seru untuk Anak, Tiga Serangkai (2016)
6. Dongeng 5 Benua, Zikrul-Bestari (2016)
7. Mukjizat Hebat, Zikrul-Bestari (2016)
8. Seri Selebritas Langit, Tiga Serangkai (2017)
9. Ensiklopedia Petualangan Mesjid di Dunia, Ihsan Media (2020)
10. Ilustrasi PAI & PAB, PAUD, Pusat Perbukuan, Kemenristekdikti (2021–2022)
11. Ilustrasi PAI, Dirjen PAI, Kemenag (2022)

## Profil Penyunting dan Penata Letak



Nama Lengkap : Harris Syamsi Yulianto, S.Si.
Email : harrissyulianto@gmail.com
Instansi : Pekerja lepas
Alamat Instansi : Jl. H. Cepit No. 32 RT 01/03 Jatimulya, Cilodong, Kota Depok
Bidang Keahlian : Editor (Bersertifikasi BNSP, masa berlaku 2023–2026)

**Riwayat Pekerjaan (10 Tahun Terakhir)**:
1. Editor & Desainer *Freelance*, Wirausahawan (2016–sekarang)
2. Editor di 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. Kimia untuk SMA/SMK Kelas XI (2022, Kemdikbudristek)
2. Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara untuk SMK Kelas X (2022, Kemdikbudristek)
3. Buku Panduan Guru Bahasa Indonesia Tingkat Lanjut SMA/MA Kelas XII (2022, Kemdikbudristek)
4. Sang Penjaga Hutan (2020, Multisarana Nusa Persada)
5. Bara di Rumah Morita (2020, Multisarana Nusa Persada)
6. Merevitalisasi Desa Mengakhiri Marjinalisasi (2019, Puspa Swara)
7. Selayang Pandang Bina Swadaya (2019, Puspa Swara)
8. Kitab Munajatun Nisa': Doa-Doa Mustajab Khusus Wanita (2019, Kaysa Media)
9. Dan sebagainya

**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)

## Profil Editor Visual



Nama Lengkap : Is Yuniarto Nafawi
Email : isyuniarto@gmail.com
Instansi : Wind Rider Studio
Alamat Instansi : Krukah Selatan No. 73, Surabaya
Bidang Keahlian : Komik, ilustrasi, dan desain
Media Sosial : instagram.com/is.yuniarto

**Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):**

1. Ilustrator dan komikus
2. General Manager Bumilangit Comic Media
3. Dosen honorer di Universitas Kristen Petra, Universitas Ciputra, ISTTS

**Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:**

S1 jurusan Desain Komunikasi Visual, Universitas Kristen Petra (1999–2003)

**Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):**

1. Grand Legend Ramayana Vol. 7, Reon Comics, 2023
2. Grand Legend Ramayana Vol. 6, Reon Comics, 2022
3. Grand Legend Ramayana Vol. 5, Reon Comics, 2020
4. Gundala Son of Lightning, Line Webtoon2, 2019
5. Garudayana Saga Format Scroll, Ciayo Comics, 2018
6. Grand Legend Ramayana Japan Edition, Digital Catapult, 2016
7. Garudayana Saga Japan Edition, Digital Catapult, 2015
8. Garudayana Saga Vol. 4–6, CAB Publishing, 2015
9. Garudayana Saga Vol. 1–3, CAB Publishing, 2014
10. Grand Legend Ramayana, Reon Comics, 2013

**Informasi Lain:**

1. Perwakilan Indonesia dalam *launching* film 'Avengers Infinity War' pada tahun 2018 di Marina Bay Sand, Singapura.
2. Masuk dalam jajaran *Playable Hero* dalam *game* 'Mobile Legends' (2017).
3. Perwakilan Indonesia dalam ajang pameran komik internasional di Erlangen Jerman tahun 2012.
4. Nominasi Lollipop Award 2010 di kategori Komik Indonesia Favorit Pilihan Pembaca XY Kids.
5. Nominasi Komikasia Award 2005 di kategori Best Cover, Best Character, dan Best Comic.