

Kimia Dasar



Dra. Salome Rajagukguk, M.Si.

Kimia Dasar

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Kimia Dasar

Dra. Salome Rajagukguk, M.Si



Kimia Dasar

ISBN : 978-634-7283-49-8

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Penulis : Dra. Salome Rajagukguk, M.Si

Url Buku : <https://bookstore.takaza.id/product/kimia-dasar-01/>

Desain Cover : Innovatix Labs Team

Ukuran : xi, 252, Uk: 15.5x23 cm

Cetakan Pertama : Agustus 2025

Hak Cipta 2025, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2025 by Takaza Innovatix Labs
All Right Reserved



Penerbit Takaza Innovatix Labs

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI) No. 044/SBA/2023

Jl. Berlian Raya Blok M4, Pegambiran Ampalu Nan XX,

Lubuk Begalung, Kota Padang, Sumatera Barat

No Hp: +62 811 50321 47

Website: www.takaza.id

E-mail: bookspublishing@takaza.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku *Kimia Dasar* ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai konsep-konsep fundamental kimia yang menjadi landasan bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Materi yang disajikan mencakup ruang lingkup kimia, struktur atom, sistem periodik, ikatan kimia, larutan asam-basa, reaksi redoks dan elektrokimia, koloid, kimia unsur, radiokimia, hingga polimer. Penyusunan buku ini dilakukan secara sistematis agar pembaca, khususnya mahasiswa dan pelajar, dapat memahami keterkaitan antara teori, prinsip dasar, serta aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam perkembangan teknologi modern.

Penulis berharap buku ini tidak hanya berfungsi sebagai sumber belajar, tetapi juga sebagai sarana untuk menumbuhkan rasa ingin tahu, berpikir kritis, dan mengembangkan kemampuan analitis dalam memecahkan masalah kimia. Selain itu, kehadiran praktikum, rangkuman, serta latihan di setiap bab diharapkan mampu memperkuat pemahaman konsep dan melatih keterampilan aplikatif.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN KIMIA.....	1
A. Hakikat dan Ruang Lingkup Kimia	2
B. Peran Kimia dalam Ilmu Hayati	3
C. Metode Ilmiah dalam Kimia.....	6
D. Hubungan Kimia dengan Sains Lain	8
E. Sejarah Perkembangan Ilmu Kimia.....	9
F. Kimia Dasar dalam Kehidupan Sehari-hari.....	11
G. Rangkuman.....	13
H. Latihan.....	15
BAB II MATERI DAN PERUBAHANNYA	17
A. Konsep Materi dan Klasifikasinya.....	18
B. Sifat Fisika dan Kimia Materi.....	20
C. Perubahan Fisika dan Kimia	24
D. Konsep Atom, Molekul, dan Ion	26
E. Nomor Atom, Nomor Massa, dan Isotop.....	29
F. Rumus Molekul, Ion, dan Empiris.....	32
G. Rangkuman.....	35
H. Latihan.....	36
BAB III STRUKTUR ATOM	40
A. Perkembangan Teori Atom dari Dalton ke Modern	41
B. Partikel Dasar Atom (Elektron, Proton, Neutron)	43
C. Nomor Kuantum dan Model Atom Kuantum	45
D. Konfigurasi Elektron.....	48
E. Hubungan Struktur Atom dengan Sifat Unsur	50
F. Spektrum Atom dan Implikasinya.....	53
G. Rangkuman.....	55
H. Latihan.....	56

BAB IV SISTEM PERIODIK UNSUR	60
A. Perkembangan Sistem Periodik Unsur	61
B. Hukum Periodik dan Klasifikasi Unsur	62
C. Golongan dan Periode.....	64
D. Sifat-Sifat Periodik Unsur (Jari-jari Atom, Energi Ionisasi, Afinitas Elektron, Elektronegativitas).....	66
E. Penentuan Letak Unsur dalam Periodik	69
F. Aplikasi Sistem Periodik	71
G. Rangkuman	74
H. Latihan	75
BAB V IKATAN KIMIA.....	78
A. Ikatan Ionik dan Kovalen	79
B. Ikatan Logam.....	81
C. Gaya Antar Molekul	84
D. Teori Ikatan Valensi dan Hibridisasi	86
E. Bentuk Molekul dan Teori VSEPR	89
F. Hubungan Ikatan dengan Sifat Zat	91
G. Rangkuman	94
H. Latihan	95
BAB VI LARUTAN ASAM DAN BASA.....	97
A. Konsep Asam dan Basa (Arrhenius, Bronsted-Lowry, Lewis)	98
B. Kekuatan Asam dan Basa.....	100
C. Konsep pH dan pOH	102
D. Perhitungan pH Larutan.....	105
E. Penyangga (Buffer) dan Aplikasinya.....	108
F. Indikator Asam Basa	110
G. Rangkuman	113
H. Latihan	115
BAB VII REAKSI REDOKS DAN ELEKTROKIMIA.....	119
A. Konsep Reduksi dan Oksidasi.....	120
B. Bilangan Oksidasi	122
C. Penyelesaian Persamaan Reaksi Redoks	125
D. Sel Elektrokimia (Galvani & Elektrolisis)	128
E. Potensial Elektroda Standar	130

F. Aplikasi Redoks dan Elektrokimia	133
G. Rangkuman.....	135
H. Latihan.....	137
BAB VIII KOLOID.....	140
A. Konsep dan Karakteristik Koloid	141
B. Jenis-Jenis Sistem Koloid.....	143
C. Sifat-Sifat Koloid (Efek Tyndall, Adsorpsi, dll.)	145
D. Pembuatan Koloid	149
E. Peranan Koloid dalam Kehidupan.....	152
F. Analisis Laboratorium Koloid	154
G. Rangkuman.....	157
H. Latihan.....	158
BAB IX KIMIA UNSUR	162
A. Unsur Golongan Alkali	163
B. Unsur Golongan Alkali Tanah.....	165
C. Unsur Periode III	168
D. Unsur Transisi.....	170
E. Gas Mulia.....	172
F. Halogen.....	175
G. Rangkuman.....	177
H. Latihan.....	178
BAB X KIMIA INTI DAN RADIOKIMIA	181
A. Struktur Inti Atom	182
B. Radioaktivitas dan Jenis Peluruhan	185
C. Reaksi Inti (Fisi, Fusi).....	188
D. Radioisotop dan Kegunaannya	191
E. Dampak Radiasi terhadap Kehidupan	193
F. Aplikasi Radiokimia	196
G. Rangkuman.....	199
H. Latihan.....	200
BAB XI POLIMER.....	203
A. Definisi dan Klasifikasi Polimer	204
B. Polimer Alami	206
C. Polimer Sintetik	209

D. Sifat-Sifat Polimer.....	211
E. Proses Pembuatan Polimer	214
F. Aplikasi Polimer dalam Kehidupan.....	216
G. Rangkuman	219
H. Latihan	220
BAB XII PRAKTIKUM KIMIA DASAR.....	223
A. Tata Tertib dan Keselamatan Kerja di Laboratorium	224
B. Praktikum Materi dan Perubahannya	226
C. Praktikum Asam Basa	228
D. Praktikum Redoks dan Elektrokimia	230
E. Praktikum Koloid	232
F. Praktikum Polimer.....	234
G. Rangkuman	237
H. Latihan	237

DAFTAR GAMBAR

Table 1 Perbedaan Sifat Fisika dan Kimia Materi.....	22
Table 2 Perbedaan Atom, Molekul, dan Ion.....	28
Table 3 Isotop Karbon dan Karakteristiknya.....	31
Table 4 Perbandingan Partikel Dasar Atom	43
Table 5 Jenis Nomor Kuantum	46
Table 6 Urutan Pengisian Elektron Berdasarkan Aturan Aufbau.....	49
Table 7 Hubungan Struktur Atom dan Sifat Periodik	52
Table 8 Hubungan Struktur Atom dan Sifat Periodik	54
Table 9 Hubungan Struktur Atom dan Sifat Periodik	69
Table 10 Perbedaan Ikatan Ionik dan Kovalen.....	80
Table 11 Perbandingan Ikatan Logam, Ionik, dan Kovalen	82
Table 12 Jenis Gaya Antarmolekul dan Karakteristiknya	85
Table 13 Jenis Hibridisasi dan Contoh Molekul.....	87
Table 14 Prediksi Bentuk Molekul dengan Teori VSEPR	90
Table 15 Hubungan Jenis Ikatan dengan Sifat Zat	93
Table 16 Perbandingan Teori Asam-Basa	99
Table 17 Perbandingan Teori Asam-Basa	112
Table 18 Sifat-Sifat Koloid dan Contoh Aplikasinya.....	148
Table 19 Proses Pembuatan Koloid.....	151
Table 20 Proses Pembuatan Koloid.....	165
Table 21 Tren Sifat Fisika-Kimia Unsur Golongan Alkali Tanah.....	167
Table 22 Sifat Fisika-Kimia Unsur Periode III.....	170
Table 23 Contoh Sifat Fisika dan Kimia Unsur Transisi Terpilih.....	172
Table 24 Sifat Fisika dan Kimia Gas Mulia	174
Table 25 Sifat Fisika-Kimia Unsur Halogen	177
Table 26 Ringkasan Konsep Struktur Inti Atom	184
Table 27 Jenis Peluruhan Radioaktif	187

Table 28 Perbandingan Fisi dan Fusi Nuklir	190
Table 29 Kegunaan Utama Radioisotop	193
Table 30 Dampak Radiasi terhadap Kehidupan	195
Table 31 Aplikasi Radiokimia di Berbagai Bidang	198
Table 32 Aplikasi Polimer dalam Kehidupan Sehari-hari	218

BAB I

PENDAHULUAN KIMIA

Kimia merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan alam yang memiliki posisi sentral dalam memahami fenomena materi dan perubahannya. Sebagai ilmu dasar, kimia menjembatani fisika dan biologi, serta berperan penting dalam perkembangan teknologi modern, mulai dari energi, kesehatan, hingga lingkungan. Bab ini membahas hakikat dan ruang lingkup kimia yang menjadi fondasi awal pemahaman, dilanjutkan dengan kajian aspek teoretis maupun praktis.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Memahami hakikat dan ruang lingkup kimia sebagai ilmu dasar serta *central science*.
- Menjelaskan peran kimia dalam ilmu hayati (biologi molekuler, kesehatan, lingkungan).
- Mendeskripsikan tahapan metode ilmiah dalam penelitian kimia.
- Menguraikan sejarah perkembangan kimia dari alkimia hingga kimia modern.
- Memahami hubungan kimia dengan sains lain (fisika, biologi, geologi).
- Mengidentifikasi penerapan kimia dasar dalam kehidupan sehari-hari (pangan, kesehatan, energi, lingkungan).

A. Hakikat dan Ruang Lingkup Kimia

Kimia sering dipandang sebagai *central science* karena menjembatani ilmu fisika, biologi, geologi, dan bahkan ilmu sosial tertentu dalam menjelaskan berbagai fenomena (Atkins & de Paula, 2020). Hakikat kimia terletak pada kajian mengenai materi, struktur atom, sifat-sifat zat, hingga transformasi energi dalam suatu reaksi. Ilmu ini tidak hanya menekankan aspek teoretis, melainkan juga aplikatif karena hasil kajiannya melandasi perkembangan obat-obatan, material baru, dan teknologi energi. Studi terbaru menegaskan bahwa pemahaman kimia memfasilitasi pengembangan inovasi berkelanjutan yang mendukung kebutuhan global (Chandrasegaran et al., 2021).

Ruang lingkup kimia mencakup lima cabang utama: kimia analitik, fisik, organik, anorganik, dan biokimia. Setiap cabang memiliki fokus berbeda, namun saling melengkapi. Kimia analitik berhubungan dengan metode identifikasi zat, sedangkan kimia fisik menekankan prinsip termodinamika dan kinetika. Kimia organik mengkaji senyawa karbon, anorganik fokus pada elemen lain, sementara biokimia meneliti reaksi dalam makhluk hidup. Perkembangan riset terkini menunjukkan adanya cabang interdisipliner baru seperti kimia material dan kimia lingkungan yang berperan penting dalam menghadapi krisis energi serta polusi (Nguyen & Vo, 2022).

Kajian kimia tidak dapat dilepaskan dari metode ilmiah. Proses observasi, eksperimen, dan pengujian hipotesis menjadi tulang punggung pengembangan pengetahuan di bidang ini. Ilmuwan kimia memanfaatkan pendekatan kuantitatif untuk merumuskan hukum dan teori, misalnya hukum kekekalan massa atau teori ikatan valensi. Studi laboratorium memungkinkan verifikasi empiris yang

mendukung konsep abstrak, sehingga memberikan dasar kuat bagi aplikasi teknologi. Penelitian dalam pendidikan kimia menekankan pentingnya integrasi pendekatan konseptual dan praktis agar mahasiswa dapat menghubungkan teori dengan fenomena nyata (Erduran & Kaya, 2021).

Selain aspek akademik, hakikat kimia juga erat dengan isu sosial dan lingkungan. Penggunaan bahan kimia dalam industri sering menimbulkan dilema etis karena dampaknya terhadap kesehatan manusia dan ekosistem. Penelitian mutakhir dalam *green chemistry* menekankan prinsip-prinsip ramah lingkungan, seperti efisiensi energi, minimisasi limbah, dan penggunaan bahan terbarukan. Perspektif ini memperluas ruang lingkup kimia dari sekadar ilmu laboratorium menjadi disiplin yang berkontribusi langsung pada keberlanjutan global (Anastas & Zimmerman, 2021).

Implikasi praktis dari hakikat dan ruang lingkup kimia sangat luas. Dalam bidang kesehatan, kimia melahirkan farmasi modern dan terapi molekuler. Di sektor energi, penelitian katalis dan baterai lithium-ion merevolusi teknologi transportasi. Sementara itu, dalam pertanian, kimia berkontribusi melalui pengembangan pupuk dan pestisida yang lebih selektif. Pendidikan kimia yang berbasis sains integratif kini diarahkan tidak hanya untuk menghasilkan tenaga ahli, tetapi juga membentuk kesadaran kritis tentang penggunaan sains bagi kesejahteraan manusia dan kelestarian bumi (Sjöström et al., 2020).

B. Peran Kimia dalam Ilmu Hayati

Kimia memiliki kontribusi besar dalam pengembangan ilmu hayati karena seluruh proses kehidupan berlangsung melalui reaksi kimia di tingkat molekuler. Ilmu ini membantu menjelaskan

bagaimana biomolekul seperti protein, lipid, karbohidrat, dan asam nukleat bekerja dalam menjaga kelangsungan hidup organisme. Studi dalam biokimia menegaskan bahwa tanpa pemahaman kimia, mekanisme metabolisme, fotosintesis, maupun respirasi seluler sulit dijelaskan secara menyeluruh (Nelson & Cox, 2021). Perspektif ini menempatkan kimia sebagai dasar analisis yang menjembatani biologi dengan fisika, sehingga memungkinkan deskripsi sistem kehidupan yang lebih komprehensif.

Dalam bidang biologi molekuler, kimia berperan dalam menguraikan struktur dan fungsi DNA, RNA, serta protein. Penelitian mutakhir menunjukkan bahwa pemahaman tentang interaksi kimia dalam replikasi dan transkripsi gen telah membuka jalan bagi pengembangan bioteknologi modern, termasuk terapi gen dan rekayasa protein (Zhang et al., 2021). Konsep ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, dan gaya van der Waals menjadi kunci dalam memahami penggulangan protein yang menentukan fungsi enzim. Dengan demikian, kimia tidak hanya menjelaskan fenomena biologis, tetapi juga menawarkan solusi untuk memodifikasi dan mengendalikan sistem kehidupan.

Peran kimia dalam ilmu hayati juga terlihat jelas dalam bidang farmasi dan kedokteran. Desain obat modern didasarkan pada pemahaman mendalam mengenai struktur kimiawi senyawa aktif serta interaksinya dengan reseptor biologis. Studi farmakokinetik dan farmakodinamik menekankan pentingnya analisis kimia untuk menentukan dosis, efektivitas, serta keamanan obat. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kimia komputasi dan *drug design* berbasis *molecular docking* mempercepat penemuan obat baru, khususnya dalam menghadapi penyakit kompleks seperti kanker dan COVID-19

(Rodrigues et al., 2022). Hal ini membuktikan bahwa kimia berperan langsung dalam peningkatan kualitas kesehatan manusia.

Kontribusi kimia juga meluas ke bidang ekologi dan lingkungan hayati. Analisis senyawa kimia digunakan untuk memantau polutan, mendeteksi racun biologis, serta memahami siklus biogeokimia karbon, nitrogen, dan fosfor. Studi dalam ekotoksikologi menegaskan bahwa interaksi bahan kimia sintetis dengan organisme dapat memengaruhi keanekaragaman hayati (Wang et al., 2021). Pendekatan kimia lingkungan yang berfokus pada biomarker dan analisis molekuler memungkinkan para ilmuwan mengukur dampak pencemaran pada tingkat sel dan jaringan. Dari sini tampak bahwa kimia bukan hanya ilmu dasar, melainkan alat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem.

Aplikasi praktis kimia dalam ilmu hayati sangat luas. Dalam bidang pertanian, kimia mendukung pengembangan pupuk cerdas dan pestisida ramah lingkungan. Di bidang pangan, kimia menjelaskan proses fermentasi, pengawetan, serta peningkatan gizi. Dalam bioteknologi, kimia memungkinkan rekayasa sel untuk memproduksi biofuel dan bahan bioplastik yang berkelanjutan (Chowdhury et al., 2022). Pendidikan sains pun kini menekankan integrasi kimia dengan biologi agar siswa dapat memahami kehidupan secara molekuler dan aplikatif. Dengan demikian, peran kimia dalam ilmu hayati tidak hanya memperkaya pengetahuan, tetapi juga membekali manusia dengan keterampilan untuk mengelola kesehatan, lingkungan, dan pangan secara berkelanjutan.

C. Metode Ilmiah dalam Kimia

Metode ilmiah merupakan fondasi utama dalam pengembangan pengetahuan kimia karena menjamin bahwa penemuan bersifat sistematis, terukur, dan dapat diuji ulang. Dalam konteks kimia, metode ini membantu ilmuwan menghubungkan fenomena makroskopis dengan penjelasan molekuler, misalnya melalui hukum kekekalan massa atau teori kinetika gas. Penelitian pendidikan kimia menekankan bahwa penerapan metode ilmiah memungkinkan mahasiswa memahami kimia tidak sekadar sebagai kumpulan rumus, tetapi sebagai proses penalaran berbasis bukti (Erduran & Kaya, 2021). Dengan demikian, metode ilmiah membentuk kerangka berpikir kritis yang menjadi ciri khas penelitian kimia modern.

Tahapan metode ilmiah dalam kimia dimulai dari observasi, identifikasi masalah, dan perumusan hipotesis. Observasi dapat berupa pengamatan fenomena sehari-hari seperti perubahan warna atau terbentuknya endapan, yang kemudian menginspirasi pertanyaan penelitian. Hipotesis yang diajukan harus dapat diuji melalui eksperimen yang terkontrol. Kajian terbaru menegaskan bahwa kemampuan merumuskan hipotesis yang tepat berkorelasi erat dengan literasi sains mahasiswa, khususnya dalam memahami konsep abstrak seperti ikatan kimia dan reaksi redoks (Chandrasegaran et al., 2021). Proses ini menunjukkan bahwa penguasaan metode ilmiah juga membentuk kompetensi berpikir analitis.

Eksperimen menjadi tahapan sentral dalam metode ilmiah kimia. Melalui eksperimen, hipotesis diuji menggunakan instrumen yang menghasilkan data kuantitatif maupun kualitatif. Validitas data diperoleh dari penerapan prinsip replikasi, kontrol variabel, dan penggunaan alat ukur standar. Penelitian mutakhir menyoroti

pentingnya integrasi teknologi digital seperti *computer simulation* dan *virtual lab* yang membantu mahasiswa memvisualisasikan mekanisme molekuler yang sulit diamati langsung (Nguyen & Vo, 2022). Dengan demikian, eksperimen tidak hanya menjadi sarana pembuktian, tetapi juga media pembelajaran yang adaptif dengan perkembangan teknologi.

Tahap analisis data dan penyusunan teori merupakan inti dalam menghasilkan pengetahuan baru di bidang kimia. Data yang diperoleh dari eksperimen diinterpretasikan melalui statistik dan model matematis untuk menemukan pola atau hukum umum. Sejarah ilmu kimia menunjukkan bahwa teori atom Dalton hingga model mekanika kuantum Schrödinger lahir dari siklus pengujian hipotesis yang berulang. Studi kontemporer menegaskan bahwa teori kimia kini berkembang lebih dinamis karena diperkaya dengan simulasi komputasi dan kolaborasi interdisipliner, misalnya dalam penelitian kimia material dan biokimia struktural (Rodrigues et al., 2022). Hal ini memperkuat posisi metode ilmiah sebagai pendorong inovasi.

Implikasi praktis dari penerapan metode ilmiah dalam kimia sangat luas. Dalam industri farmasi, metode ini memastikan keamanan dan efektivitas obat melalui uji klinis berbasis standar ilmiah. Di bidang lingkungan, metode ilmiah mendukung analisis polutan secara akurat sehingga dapat dirancang kebijakan mitigasi yang tepat. Dalam pendidikan, penerapan metode ilmiah membekali siswa dengan keterampilan investigasi, pemecahan masalah, dan komunikasi ilmiah (Sjöström et al., 2020). Dengan demikian, metode ilmiah bukan hanya perangkat riset, melainkan juga instrumen transformasi pengetahuan kimia menuju kebermanfaatan nyata bagi masyarakat dan lingkungan.

D. Hubungan Kimia dengan Sains Lain

Kimia dikenal sebagai *central science* karena perannya yang menghubungkan berbagai disiplin ilmu pengetahuan. Setiap fenomena dalam sains, baik fisika, biologi, maupun geologi, selalu memiliki dimensi kimia yang menjelaskan proses di tingkat molekul dan atom. Kajian dalam filsafat sains menekankan bahwa kimia berperan sebagai penghubung antara ilmu-ilmu eksperimental dan terapan karena mampu menjembatani konsep energi, materi, dan kehidupan (Erduran & Kaya, 2021). Pemahaman ini menegaskan bahwa tanpa kimia, integrasi antar-sains akan sulit terwujud secara komprehensif.

Hubungan kimia dengan fisika tampak jelas dalam kimia fisik, yang memanfaatkan hukum termodinamika, mekanika kuantum, serta teori kinetika untuk menjelaskan sifat materi. Ilmuwan kimia menggunakan model fisika untuk memahami interaksi molekul, energi ikatan, dan dinamika reaksi. Studi mutakhir menunjukkan bahwa pemodelan kuantum dalam kimia tidak hanya memperkuat teori fisika, tetapi juga memperluas aplikasi praktis seperti desain material baru dan teknologi energi terbarukan (Nguyen & Vo, 2022). Hal ini menunjukkan simbiosis antara kimia dan fisika dalam pengembangan sains modern.

Dalam biologi, kimia menjelaskan mekanisme kehidupan melalui biokimia dan biologi molekuler. Konsep ikatan hidrogen, interaksi enzim-substrat, serta sintesis protein hanya dapat dipahami melalui pendekatan kimia. Kajian terkini menegaskan bahwa keberhasilan penelitian dalam bidang genomik dan terapi sel punca banyak bergantung pada instrumen kimia untuk analisis molekuler (Zhang et al., 2021). Dengan demikian, kimia memperkaya biologi dengan

kerangka penjelasan yang lebih detail, sekaligus membuka jalan bagi bioteknologi modern.

Kimia juga berhubungan erat dengan geologi dan ilmu lingkungan. Analisis kimia mineral, isotop, serta reaksi geokimia membantu memahami proses pembentukan bumi, siklus air, dan dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem. Studi ekotoksikologi menunjukkan bahwa pemantauan polutan kimia di tanah dan air menjadi dasar bagi pengambilan keputusan kebijakan lingkungan (Wang et al., 2021). Perspektif ini memperlihatkan bahwa kolaborasi kimia dengan geologi dan ekologi penting untuk menjawab tantangan keberlanjutan global.

Aplikasi interdisipliner kimia kini semakin menonjol. Dalam kedokteran, kimia berperan dalam penemuan obat dan diagnostik berbasis biomarker. Dalam ilmu material, integrasi kimia, fisika, dan teknik menghasilkan inovasi seperti nanoteknologi dan bahan ramah lingkungan. Sementara itu, dalam ilmu komputer, kimia memanfaatkan simulasi molekuler untuk mempercepat penemuan senyawa baru (Rodrigues et al., 2022). Dengan demikian, hubungan kimia dengan sains lain bersifat saling menguatkan, menghadirkan kontribusi nyata bagi perkembangan pengetahuan sekaligus solusi praktis bagi peradaban manusia.

E. Sejarah Perkembangan Ilmu Kimia

Perkembangan ilmu kimia berlangsung melalui proses panjang yang berawal dari praktik empiris hingga menjadi disiplin sains modern. Pada masa peradaban Mesir, Yunani, India, dan Tiongkok kuno, praktik-praktik seperti pembuatan logam, pengawetan makanan, dan pembuatan obat herbal sudah mengandung unsur kimia meski

belum dikenal sebagai ilmu formal. Tradisi alkimia di Timur Tengah dan Eropa abad pertengahan kemudian memberikan fondasi penting dengan memperkenalkan percobaan laboratorium sederhana serta pencarian batu filsuf yang diyakini mampu mengubah logam biasa menjadi emas (Atkins & de Paula, 2020). Meski sarat unsur mistis, alkimia berkontribusi pada pengembangan peralatan dan teknik dasar laboratorium.

Memasuki abad ke-17, transformasi alkimia menjadi kimia ilmiah mulai terlihat dengan munculnya *iatrokimia* yang menggabungkan kimia dengan kedokteran. Tokoh seperti Paracelsus menekankan penggunaan senyawa kimia untuk penyembuhan penyakit. Pada saat yang sama, Robert Boyle melalui karyanya *The Sceptical Chymist* (1661) mengkritik pandangan kuno tentang empat unsur klasik dan menekankan pentingnya pendekatan eksperimental. Periode ini menjadi titik balik, karena kimia mulai diperlakukan sebagai ilmu yang harus diuji secara empiris, bukan sekadar spekulasi filosofis (Chang & Goldsby, 2021).

Abad ke-18 ditandai dengan lahirnya teori dan hukum dasar kimia. Antoine Lavoisier dikenal sebagai "bapak kimia modern" karena memperkenalkan hukum kekekalan massa serta sistem nomenklatur kimia yang lebih terstandar. Melalui eksperimen yang cermat, ia membuktikan bahwa pembakaran melibatkan oksigen, bukan unsur fiktif flogiston. Penerapan metode kuantitatif menjadikan kimia semakin dekat dengan fisika dalam menjelaskan fenomena alam (Erduran & Kaya, 2021). Penemuan-penemuan ini sekaligus mengukuhkan kimia sebagai disiplin independen dalam lingkup ilmu alam.

Perkembangan besar terjadi pada abad ke-19 dengan munculnya teori atom Dalton yang menyatakan bahwa materi tersusun atas partikel kecil yang tidak dapat dibagi. Konsep ini diperkuat dengan penemuan hukum-hukum dasar lain seperti hukum perbandingan tetap dan hukum perbandingan berganda. Tokoh seperti Dmitri Mendeleev menyusun tabel periodik yang memprediksi keberadaan unsur baru, membuktikan bahwa struktur kimia memiliki keteraturan logis. Pada periode ini, penelitian juga mulai diarahkan pada kimia organik dengan ditemukannya urea sintetis oleh Friedrich Wöhler, yang menggugurkan pandangan vitalisme (Nguyen & Vo, 2022).

Abad ke-20 membawa revolusi dengan ditemukannya mekanika kuantum dan aplikasinya dalam menjelaskan struktur atom serta ikatan kimia. Model atom Bohr kemudian dikembangkan menjadi model mekanika gelombang Schrödinger yang lebih akurat dalam menggambarkan perilaku elektron. Di sisi lain, penelitian dalam kimia fisik, biokimia, dan kimia material semakin berkembang pesat, ditunjang dengan instrumen analisis modern seperti spektroskopi, kromatografi, dan mikroskop elektron. Kajian kontemporer menegaskan bahwa sejak era ini, kimia telah berevolusi menjadi ilmu multidisipliner yang tidak hanya menjelaskan fenomena, tetapi juga menghasilkan inovasi teknologi (Rodrigues et al., 2022).

F. Kimia Dasar dalam Kehidupan Sehari-hari

Kimia dasar memiliki peranan penting dalam menjelaskan fenomena yang kita jumpai sehari-hari, mulai dari proses memasak, membersihkan rumah, hingga menjaga kesehatan. Aktivitas sederhana seperti mendidihkan air, menggoreng makanan, atau mencampur bahan pembersih sesungguhnya melibatkan prinsip-prinsip kimia seperti perubahan fasa, reaksi oksidasi, dan interaksi asam-basa.

Penelitian pendidikan sains menegaskan bahwa pengenalan konsep kimia melalui konteks kehidupan sehari-hari dapat meningkatkan pemahaman siswa karena lebih mudah dikaitkan dengan pengalaman nyata (Chandrasegaran et al., 2021). Dengan demikian, kimia dasar menjadi kunci literasi sains masyarakat modern.

Dalam bidang kesehatan, pemahaman kimia dasar terlihat dalam penggunaan obat, vitamin, maupun produk antiseptik. Komposisi senyawa aktif dalam obat dirancang berdasarkan interaksi kimia dengan reseptor biologis. Contohnya, parasetamol bekerja sebagai analgesik dengan mekanisme kimia tertentu yang memengaruhi sistem saraf. Selain itu, sabun dan desinfektan bekerja melalui prinsip reaksi surfaktan dan oksidasi yang mampu menghancurkan dinding sel mikroorganisme. Studi mutakhir menegaskan bahwa pemahaman konsep kimia sederhana dapat membantu masyarakat menggunakan produk kesehatan secara tepat dan aman (Zhang et al., 2021).

Kimia juga hadir dalam makanan dan minuman yang kita konsumsi. Fermentasi pada tempe, tape, atau yoghurt merupakan hasil kerja mikroorganisme yang memicu reaksi biokimia kompleks. Proses pencoklatan pada roti panggang atau daging goreng merupakan contoh reaksi Maillard, yaitu interaksi antara asam amino dan gula pereduksi. Kajian terkini dalam kimia pangan menekankan bahwa pengetahuan tentang reaksi ini dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas gizi dan cita rasa sekaligus menjaga keamanan pangan (Wang et al., 2021). Hal ini memperlihatkan bagaimana kimia dasar berperan langsung dalam pengalaman kuliner manusia.

Dalam aspek lingkungan rumah tangga, kimia dasar digunakan pada produk pembersih, deterjen, hingga pengawet makanan. Reaksi antara natrium bikarbonat dengan asam asetat, misalnya,

menghasilkan gas karbon dioksida yang umum dimanfaatkan dalam pembersihan kerak. Deterjen modern diformulasikan dengan surfaktan dan enzim yang memecah kotoran organik. Penelitian kontemporer menegaskan bahwa kesadaran masyarakat terhadap *green chemistry* mendorong penggunaan bahan rumah tangga yang lebih ramah lingkungan, seperti deterjen berbahan nabati dan pengawet alami (Chowdhury et al., 2022). Dengan demikian, kimia dasar juga berkontribusi pada gaya hidup berkelanjutan.

Selain itu, energi dan teknologi modern pun tidak lepas dari prinsip kimia dasar. Baterai pada telepon genggam, reaksi pembakaran pada kendaraan bermotor, serta penggunaan gas LPG di dapur semuanya berlandaskan konsep reaksi redoks, perubahan energi, dan sifat termodinamika. Pemahaman sederhana tentang hal ini membantu masyarakat lebih bijak dalam menggunakan energi serta menjaga keamanan saat mengoperasikan alat. Studi pendidikan kimia menekankan bahwa integrasi konsep sehari-hari dengan teori ilmiah mampu meningkatkan literasi energi sekaligus membangun kesadaran akan dampak lingkungan (Sjöström et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa kimia dasar tidak hanya teoretis, tetapi sangat dekat dengan keseharian manusia.

G. Rangkuman

Bab ini membahas hakikat kimia sebagai ilmu dasar yang berperan penting dalam menjelaskan fenomena alam sekaligus mendukung perkembangan teknologi dan kehidupan manusia. Kimia dipandang sebagai *central science* karena menghubungkan berbagai disiplin lain, mulai dari fisika, biologi, geologi, hingga ilmu lingkungan. Pemahaman akan ruang lingkup dan cabang-cabang kimia

menjadi landasan untuk memahami konsep lebih lanjut dalam studi sains.

Kimia dalam ilmu hayati dijelaskan melalui perannya dalam memahami biomolekul, metabolisme, hingga penerapan bioteknologi modern. Hubungan kimia dengan biologi dan kesehatan sangat erat, khususnya dalam bidang farmasi, nutrisi, dan ekologi. Selain itu, metode ilmiah menjadi kerangka kerja utama dalam penelitian kimia, yang menekankan observasi, hipotesis, eksperimen, analisis data, dan pembentukan teori.

Sejarah perkembangan kimia menunjukkan evolusi dari alkimia kuno, teori atom, hingga revolusi mekanika kuantum yang melahirkan cabang-cabang modern seperti kimia organik, anorganik, dan biokimia. Hubungan kimia dengan sains lain memperlihatkan sifat interdisipliner yang mendukung lahirnya inovasi, seperti nanoteknologi, bioteknologi, dan ilmu material.

Kimia dasar dalam kehidupan sehari-hari tercermin dalam kesehatan, pangan, energi, dan produk rumah tangga. Proses memasak, penggunaan obat, deterjen, hingga teknologi baterai semuanya didasari prinsip kimia sederhana yang aplikatif. Dengan demikian, Bab I menegaskan bahwa kimia bukan hanya ilmu abstrak di laboratorium, melainkan bagian integral dari kehidupan manusia dan peradaban.

H. Latihan

Soal

1. Jelaskan mengapa kimia disebut sebagai *central science* dan bagaimana perannya dalam menghubungkan berbagai cabang ilmu pengetahuan!
2. Uraikan peran kimia dalam ilmu hayati, khususnya dalam bidang biologi molekuler dan kesehatan masyarakat!
3. Bagaimana tahapan metode ilmiah diterapkan dalam penelitian kimia, dan mengapa eksperimen menjadi tahapan sentral?
4. Paparkan secara singkat perkembangan ilmu kimia dari masa alkimia hingga menjadi ilmu modern abad ke-20!
5. Berikan contoh penerapan konsep kimia dasar dalam kehidupan sehari-hari yang terkait dengan pangan, kesehatan, dan lingkungan!

Jawaban

1. Kimia disebut *central science* karena menghubungkan ilmu lain dalam menjelaskan fenomena pada tingkat atom dan molekul. Kimia menjadi dasar bagi biologi (reaksi metabolisme), fisika (energi dan struktur materi), geologi (reaksi mineral), hingga ilmu lingkungan (analisis polutan).
2. Dalam ilmu hayati, kimia menjelaskan struktur dan fungsi biomolekul seperti DNA, protein, dan enzim. Di bidang kesehatan, kimia berperan dalam penemuan obat, analisis

metabolisme, serta pengembangan teknologi medis seperti terapi gen dan vaksin.

3. Metode ilmiah dalam kimia meliputi observasi, perumusan hipotesis, eksperimen, analisis data, dan pembentukan teori. Eksperimen menjadi tahapan sentral karena memungkinkan verifikasi hipotesis secara empiris dan menghasilkan data yang dapat diuji ulang.
4. Perkembangan kimia dimulai dari alkimia kuno yang bersifat mistis, kemudian berubah menjadi ilmu ilmiah pada abad ke-17 lewat karya Boyle. Lavoisier pada abad ke-18 memperkenalkan hukum kekekalan massa. Abad ke-19 ditandai teori atom Dalton dan tabel periodik Mendeleev. Abad ke-20 membawa revolusi mekanika kuantum dan lahirnya cabang kimia modern.
5. Penerapan kimia dasar dalam kehidupan sehari-hari terlihat pada fermentasi makanan (tempe, yoghurt), penggunaan sabun dan antiseptik untuk kesehatan, serta pemanfaatan baterai dan LPG dalam teknologi energi. Semua contoh ini menunjukkan konsep reaksi kimia yang aplikatif.

BAB II

MATERI DAN PERUBAHANNYA

Materi merupakan konsep fundamental dalam ilmu kimia yang menjadi dasar untuk memahami fenomena alam dan teknologi. Perubahan materi, baik fisika maupun kimia, menjelaskan bagaimana zat dapat berganti bentuk, sifat, dan energi tanpa menghilangkan esensi keberadaannya. Pemahaman terhadap hakikat materi dan transformasinya penting, tidak hanya untuk aspek teoretis, tetapi juga bagi penerapan praktis dalam kehidupan sehari-hari, industri, maupun riset ilmiah. Bab ini akan menguraikan konsep materi, klasifikasinya, serta jenis-jenis perubahan yang terjadi.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan konsep dasar materi, klasifikasinya, serta membedakan antara zat tunggal dan campuran.
- Mengidentifikasi perbedaan sifat fisika dan sifat kimia materi melalui contoh nyata dalam kehidupan sehari-hari.
- Menganalisis perubahan fisika dan kimia suatu zat, serta menjelaskan indikator yang membedakan keduanya.
- Mendeskripsikan konsep atom, molekul, dan ion, termasuk struktur, sifat, dan aplikasinya dalam ilmu pengetahuan dan teknologi.
- Menentukan nomor atom, nomor massa, dan isotop, serta menjelaskan peran isotop dalam sains dan kehidupan.

A. Konsep Materi dan Klasifikasinya

Materi merupakan segala sesuatu yang memiliki massa dan menempati ruang. Definisi ini menjadi titik tolak dalam memahami fenomena kimia karena seluruh kajian ilmiah selalu berhubungan dengan sifat dan interaksi materi. Sejak era filsuf Yunani, seperti Demokritos yang memperkenalkan gagasan *atomos*, hingga perkembangan teori modern berbasis mekanika kuantum, konsep materi terus mengalami evolusi. Ilmu kimia kontemporer memandang materi bukan hanya sekadar zat yang dapat diamati secara kasat mata, tetapi juga melibatkan struktur subatomik yang kompleks. Pemahaman ini penting untuk menjelaskan fenomena yang tampak sederhana, misalnya perubahan wujud air, hingga yang sangat kompleks seperti reaksi katalisis pada tingkat molekuler.

Klasifikasi materi pada dasarnya bertujuan untuk memudahkan pemahaman terhadap sifat-sifat zat. Secara umum, materi dapat dibedakan menjadi dua kategori besar, yaitu zat tunggal (*pure substance*) dan campuran (*mixture*). Zat tunggal terbagi lagi menjadi unsur (*element*) dan senyawa (*compound*), sedangkan campuran dapat berupa homogen (*solution*) maupun heterogen. Pembagian ini tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga memberikan kerangka praktis dalam laboratorium maupun industri. Misalnya, kemampuan mengidentifikasi apakah suatu zat tergolong campuran homogen atau heterogen menjadi dasar dalam pemilihan metode pemisahan, seperti destilasi atau filtrasi.

Perkembangan penelitian dalam dekade terakhir memperlihatkan bahwa klasifikasi materi tidak lagi cukup hanya dengan membedakan berdasarkan homogenitas atau komposisi. Studi material maju, seperti *nanomaterials*, *biopolymers*, dan *smart materials*, menuntut adanya

kategori baru yang lebih kontekstual. Misalnya, *nanomaterials* sering kali memperlihatkan sifat unik yang tidak dimiliki dalam skala makro, sehingga menantang batas-batas klasifikasi tradisional (Zhang & Zhao, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa ilmu kimia bersifat dinamis dan selalu berkembang mengikuti kebutuhan manusia serta kemajuan teknologi.

Selain itu, klasifikasi materi juga berhubungan erat dengan sifat fisika dan kimianya. Sifat fisika meliputi titik lebur, densitas, dan kelarutan, sedangkan sifat kimia berkaitan dengan kecenderungan zat mengalami perubahan, seperti mudah terbakar atau bereaksi dengan asam. Keduanya penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan maupun aplikasi praktis. Sebagai contoh, pemahaman mengenai sifat kimia suatu senyawa organik menjadi kunci dalam perancangan obat-obatan modern. Kajian terbaru menegaskan bahwa integrasi data sifat fisikokimia dengan analisis komputasi dapat mempercepat proses *drug discovery* secara signifikan (Haque et al., 2023).

Klasifikasi materi juga menjadi fondasi dalam sistem periodik unsur. Sistem periodik yang disusun Mendeleev pada abad ke-19 kini berkembang menjadi tabel periodik modern yang mencakup lebih dari 118 unsur. Susunan ini bukan sekadar daftar, tetapi refleksi dari keteraturan sifat kimia dan fisika yang memungkinkan prediksi perilaku unsur baru. Penelitian kontemporer dalam kimia supramolekular dan material transisi energi, seperti baterai berbasis litium dan natrium, memperlihatkan bagaimana klasifikasi unsur dalam tabel periodik menjadi panduan penting bagi inovasi teknologi energi bersih (Lee & Kim, 2022).

Dari perspektif pendidikan, konsep materi dan klasifikasinya merupakan fondasi awal yang harus dipahami peserta didik sebelum

melangkah ke topik yang lebih kompleks. Penelitian pendidikan sains menunjukkan bahwa miskonsepsi tentang konsep zat murni dan campuran masih sering ditemukan di kalangan siswa. Oleh karena itu, pendekatan *inquiry-based learning* dan penggunaan media visual interaktif disarankan untuk mengatasi kesenjangan pemahaman (Rahman et al., 2021). Strategi pedagogis ini sekaligus menegaskan pentingnya penguasaan konsep dasar sebagai pintu masuk menuju pemahaman kimia tingkat lanjut.

Implikasi praktis dari pemahaman klasifikasi materi terlihat jelas dalam kehidupan sehari-hari maupun industri. Misalnya, pemisahan campuran menjadi bagian integral dalam pengolahan air bersih, produksi pangan, dan farmasi. Demikian pula, klasifikasi senyawa organik dan anorganik digunakan dalam mengembangkan material ramah lingkungan, seperti plastik biodegradable. Riset terkini menunjukkan bahwa klasifikasi dan rekayasa materi berbasis biopolimer dapat menjadi solusi terhadap masalah limbah plastik global (Kumar et al., 2022). Dengan demikian, konsep dasar mengenai materi tidak hanya relevan dalam ranah akademik, tetapi juga berkontribusi nyata bagi keberlanjutan hidup manusia.

B. Sifat Fisika dan Kimia Materi

Sifat-sifat materi merupakan ciri penting yang memungkinkan para ilmuwan dan praktisi mengenali, mengklasifikasikan, serta memanfaatkan suatu zat. Dalam kajian kimia, sifat materi dibedakan menjadi sifat fisika dan sifat kimia. Pembedaan ini bukan hanya sekadar teoretis, melainkan menjadi dasar dalam berbagai aplikasi, mulai dari pengembangan material baru hingga industri farmasi. Sifat fisika dapat diamati tanpa mengubah identitas kimia zat, sementara sifat kimia hanya muncul ketika zat tersebut mengalami transformasi

komposisi. Perbedaan mendasar inilah yang menjadikan klasifikasi sifat sangat krusial dalam pembelajaran dan penelitian ilmiah.

Sifat fisika mencakup karakteristik yang dapat diukur atau diamati tanpa mengubah struktur internal zat. Contohnya adalah warna, bau, densitas, titik lebur, titik didih, kelarutan, hingga konduktivitas listrik. Sifat-sifat ini memungkinkan pengenalan dan pemisahan zat secara praktis. Misalnya, identifikasi mineral dalam geologi banyak bergantung pada sifat fisik seperti kilap dan kekerasan. Penelitian terkini menegaskan bahwa sifat fisika suatu material, khususnya *nanomaterials*, sering kali berbeda secara signifikan dari bentuk bulk-nya, sehingga memunculkan potensi baru dalam elektronik dan biomedis (Zhang & Zhao, 2021).

Berbeda dengan itu, sifat kimia berkaitan dengan kecenderungan suatu zat untuk bertransformasi menjadi zat baru. Contohnya termasuk mudah terbakar, bereaksi dengan oksigen, bereaksi dengan asam atau basa, serta kestabilan terhadap panas. Sifat ini tidak dapat diamati tanpa adanya perubahan komposisi kimia. Misalnya, besi yang berkarat menunjukkan reaksi oksidasi, sehingga sifat kimia besi adalah kemampuannya bereaksi dengan oksigen di udara. Kajian terbaru dalam kimia lingkungan menunjukkan bahwa pemahaman sifat kimia logam berat, seperti afinitasnya terhadap ion lain, menjadi dasar penting dalam strategi remediasi polusi (Haque et al., 2023).

Untuk memperjelas perbedaan antara kedua konsep tersebut, dapat ditampilkan dalam bentuk tabel akademis berikut:

Table 1 Perbedaan Sifat Fisika dan Kimia Materi

Aspek	Sifat Fisika	Sifat Kimia
Definisi	Karakteristik yang dapat diamati/diukur tanpa mengubah komposisi zat	Karakteristik yang hanya muncul saat zat mengalami perubahan komposisi
Contoh	Titik lebur, titik didih, densitas, warna, kelarutan	Mudah terbakar, bereaksi dengan asam, oksidasi, korosi
Hasil Pengamatan	Tidak menghasilkan zat baru	Menghasilkan zat baru dengan sifat berbeda

Klasifikasi ini penting dalam konteks pendidikan sains. Banyak siswa sering keliru menganggap perubahan wujud seperti es mencair sebagai perubahan kimia, padahal hanya merupakan perubahan fisika. Penelitian pendidikan kimia menegaskan bahwa miskonsepsi tentang sifat dan perubahan materi dapat diatasi dengan penggunaan model visual dan simulasi laboratorium digital (Rahman et al., 2021). Dengan demikian, membedakan sifat fisika dan kimia sejak awal memberikan fondasi konseptual yang lebih kuat untuk memahami topik lanjutan.

Selain dalam ranah pembelajaran, sifat fisika dan kimia memiliki peran strategis dalam industri. Dalam farmasi, sifat fisika seperti kelarutan obat menentukan efektivitas penyerapannya dalam tubuh, sedangkan sifat kimia menentukan kestabilan molekul terhadap metabolisme. Di bidang energi, pemahaman sifat kimia hidrogen

sebagai zat yang mudah bereaksi dengan oksigen mendasari pengembangan sel bahan bakar. Penelitian terbaru menekankan pentingnya integrasi sifat fisik dan kimia dalam desain material baru untuk energi bersih, seperti katalis berbasis logam transisi (Lee & Kim, 2022).

Implikasi praktis juga terlihat dalam kehidupan sehari-hari. Pemisahan campuran seperti penyaringan kopi bergantung pada sifat fisika, sedangkan proses memasak yang mengubah protein dalam daging adalah contoh perubahan kimia. Kajian kontemporer menunjukkan bahwa pemahaman masyarakat terhadap perbedaan ini dapat meningkatkan literasi sains dan kesadaran lingkungan, misalnya dalam mengelola limbah rumah tangga melalui pemisahan sampah organik dan anorganik (Kumar et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa pemahaman konsep akademis dapat memberikan dampak langsung bagi perilaku masyarakat.

Dengan demikian, sifat fisika dan kimia materi tidak hanya memiliki makna dalam dunia ilmiah, tetapi juga dalam konteks praktis sehari-hari. Distingsi keduanya membantu ilmuwan, pendidik, industri, hingga masyarakat umum dalam memahami, mengolah, dan memanfaatkan zat secara tepat. Lebih jauh, penelitian mutakhir tentang material cerdas (*smart materials*) menunjukkan bahwa perbedaan sifat fisik dan kimia dapat direkayasa untuk menghasilkan material multifungsi, misalnya polimer yang dapat berubah warna sekaligus bereaksi terhadap stimulus tertentu (Haque et al., 2023). Hal ini membuktikan bahwa konsep dasar yang sederhana memiliki relevansi mendalam dalam inovasi teknologi modern.

C. Perubahan Fisika dan Kimia

Perubahan materi merupakan salah satu aspek utama dalam kimia karena melalui perubahan tersebut kita dapat memahami sifat dasar zat dan interaksinya. Secara umum, perubahan materi dibedakan menjadi perubahan fisika dan perubahan kimia. Perubahan fisika adalah transformasi yang tidak mengubah komposisi kimia zat, sedangkan perubahan kimia menghasilkan zat baru dengan struktur dan sifat berbeda. Perbedaan ini bukan hanya penting secara teoretis, tetapi juga memiliki implikasi luas dalam pendidikan, penelitian, serta aplikasi industri.

Perubahan fisika mencakup fenomena yang dapat diamati tanpa menghasilkan zat baru. Contoh klasik adalah perubahan wujud air dari es menjadi cair, atau dari cair menjadi gas. Komposisi molekul H_2O tetap sama, hanya susunannya yang berubah. Contoh lain termasuk melarutnya gula dalam air atau pemotongan kayu. Kajian mutakhir dalam fisika material menunjukkan bahwa perubahan fisika juga terjadi pada level nano, misalnya perubahan struktur kristal akibat tekanan tinggi tanpa memodifikasi ikatan kimianya (Zhang & Zhao, 2021). Pemahaman ini penting dalam merancang material dengan sifat mekanis yang diinginkan.

Sebaliknya, perubahan kimia melibatkan reaksi yang menghasilkan zat baru. Misalnya, pembakaran kertas yang menghasilkan karbon dioksida dan abu, atau reaksi besi dengan oksigen yang menghasilkan karat. Dalam kasus ini, identitas awal zat sudah berubah dan tidak dapat kembali seperti semula dengan cara fisika sederhana. Studi terbaru dalam kimia lingkungan menekankan bahwa reaksi kimia menjadi pusat perhatian dalam masalah polusi udara, misalnya reaksi nitrogen oksida di atmosfer yang menghasilkan

ozon troposferik (Haque et al., 2023). Dengan demikian, pemahaman perubahan kimia sangat penting untuk analisis lingkungan.

Perbedaan antara perubahan fisika dan kimia dapat dijelaskan melalui indikator praktis. Perubahan kimia biasanya ditandai dengan terbentuknya gas, perubahan warna permanen, munculnya endapan, atau pelepasan dan penyerapan energi yang signifikan. Sebaliknya, perubahan fisika sering kali bersifat reversibel, seperti air yang membeku lalu mencair kembali. Penelitian pendidikan sains menunjukkan bahwa miskonsepsi tentang perbedaan keduanya masih banyak ditemukan di kalangan siswa, terutama dalam membedakan fenomena pembakaran lilin—yang sebagian merupakan perubahan fisika (meleleh) dan sebagian perubahan kimia (terbakar) (Rahman et al., 2021).

Dalam konteks industri, pemahaman perubahan fisika dan kimia memiliki nilai strategis. Industri farmasi mengandalkan perubahan kimia dalam sintesis obat-obatan, sementara industri pangan sering kali mengelola perubahan fisika dalam proses pengemasan, pengawetan, dan distribusi. Kajian terbaru menegaskan bahwa kombinasi kedua perubahan ini dapat menciptakan produk inovatif, misalnya teknologi *smart packaging* yang memanfaatkan perubahan kimia indikator warna sekaligus perubahan fisika bahan kemasan (Kumar et al., 2022).

Dari perspektif keberlanjutan, pemahaman terhadap perubahan materi menjadi kunci dalam pengelolaan limbah. Perubahan fisika digunakan dalam proses daur ulang mekanis, seperti peleburan plastik, sedangkan perubahan kimia diterapkan dalam daur ulang kimiawi untuk mengubah limbah menjadi monomer baru. Penelitian terkini menekankan bahwa kombinasi kedua pendekatan ini dapat membantu

mengatasi masalah global terkait limbah plastik dan energi (Lee & Kim, 2022). Hal ini membuktikan bahwa konsep dasar yang dipelajari di bangku sekolah memiliki relevansi langsung dalam tantangan lingkungan modern.

Secara praktis, pemahaman perbedaan perubahan fisika dan kimia membantu individu dalam kehidupan sehari-hari. Memasak makanan, membersihkan logam berkarat, atau mengolah sampah organik adalah contoh aktivitas yang melibatkan kedua jenis perubahan ini. Integrasi antara teori dasar dan aplikasi nyata akan meningkatkan literasi sains masyarakat serta membuka peluang inovasi di berbagai bidang. Dengan demikian, mempelajari perubahan fisika dan kimia bukan hanya sebatas memahami fenomena, tetapi juga menyadari keterkaitannya dengan keberlanjutan hidup manusia dan perkembangan teknologi.

D. Konsep Atom, Molekul, dan Ion

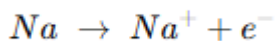
Atom, molekul, dan ion merupakan konsep fundamental dalam kimia yang menjadi dasar untuk memahami struktur dan sifat materi. Atom adalah partikel terkecil dari suatu unsur yang masih memiliki sifat kimia unsur tersebut. Molekul terbentuk dari ikatan dua atau lebih atom, sedangkan ion adalah atom atau kelompok atom yang bermuatan listrik akibat kehilangan atau menerima elektron. Pemahaman terhadap ketiganya penting, karena semua fenomena kimia pada dasarnya terjadi melalui interaksi atom, molekul, dan ion dalam berbagai bentuk.

Konsep atom telah berkembang sejak zaman Demokritos yang menyatakan keberadaan partikel tak terbagi (*atomos*), hingga model mekanika kuantum modern yang menjelaskan probabilitas keberadaan

elektron dalam orbital. Perkembangan ini menunjukkan bahwa atom tidak lagi dipandang sebagai partikel padat, melainkan sistem kompleks yang terdiri atas inti bermuatan positif (proton dan neutron) serta elektron yang bergerak di sekitarnya. Misalnya, konfigurasi elektron dalam atom natrium ditulis sebagai $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$, yang menjelaskan kecenderungan natrium untuk melepaskan satu elektron valensi dan membentuk ion Na^+ .

Sementara itu, molekul terbentuk ketika atom-atom berikatan secara kimia. Ikatan ini bisa berupa ikatan kovalen, ionik, atau logam, tergantung pada sifat atom yang berinteraksi. Sebagai contoh, molekul air (H_2O) terbentuk dari ikatan kovalen antara atom hidrogen dan oksigen, yang menghasilkan struktur polar dengan sifat unik seperti kemampuan melarutkan banyak zat. Riset kontemporer menunjukkan bahwa pemahaman interaksi molekul air sangat penting dalam bidang biokimia dan nanoteknologi, karena sifat polaritasnya berpengaruh pada stabilitas protein dan proses biologis lainnya (Lee & Kim, 2022).

Ion, di sisi lain, muncul ketika atom mengalami proses ionisasi, yaitu kehilangan atau mendapatkan elektron. Ion positif disebut kation (misalnya Na^+ , Ca^{2+}), sedangkan ion negatif disebut anion (misalnya Cl^- , SO_4^{2-}). Proses pembentukan ion dapat digambarkan dengan rumus reaksi sederhana:



Persamaan ini menunjukkan bahwa atom natrium melepaskan satu elektron untuk membentuk kation. Ionisasi sangat penting dalam menjelaskan konduktivitas larutan elektrolit, mekanisme reaksi asam-basa, maupun aplikasi praktis seperti baterai litium-ion.

Untuk memperjelas perbedaan mendasar antara atom, molekul, dan ion, berikut disajikan tabel perbandingan:

Table 2 Perbedaan Atom, Molekul, dan Ion

Aspek	Atom	Molekul	Ion
Definisi	Partikel terkecil dari unsur	Gabungan dua atau lebih atom dengan ikatan kimia	Atom/kelompok atom bermuatan listrik
Contoh	H, Na, O	H ₂ O, CO ₂ , O ₂	Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻
Komposisi	Proton, neutron, elektron	Atom-atom yang terikat kovalen/ionik	Atom/molekul dengan kelebihan/kelebihan elektron
Sifat	Netral secara listrik	Umumnya netral	Bermuatan positif (kation) atau negatif (anion)
Aplikasi	Unsur dasar kimia	Senyawa kehidupan, material, gas	Elektrolit, reaksi kimia, baterai, sel biologis

Sumber: Disarikan dari Haque et al. (2023); Rahman et al. (2021).

Dalam konteks pembelajaran, atom, molekul, dan ion sering kali menjadi titik awal untuk memahami konsep yang lebih kompleks, seperti stoikiometri, termodinamika, dan elektrokimia. Penelitian pendidikan sains menekankan bahwa visualisasi model atom dan molekul melalui simulasi digital dapat mengurangi miskonsepsi siswa (Rahman et al., 2021). Misalnya, kesalahan umum adalah menganggap molekul oksigen (O₂) sebagai atom tunggal O, padahal keduanya memiliki sifat kimia yang sangat berbeda.

Secara praktis, konsep ini juga memiliki implikasi nyata dalam kehidupan sehari-hari dan industri. Molekul air berperan penting

dalam fisiologi tubuh manusia, ion natrium dan kalium diperlukan dalam impuls saraf, sementara atom karbon menjadi dasar dalam kimia organik. Dalam bidang teknologi, baterai litium-ion bekerja dengan memanfaatkan pergerakan ion Li^+ antara anoda dan katoda. Hal ini menunjukkan bahwa pemahaman dasar tentang atom, molekul, dan ion berkontribusi langsung pada pengembangan teknologi modern yang mendukung kehidupan manusia.

Dengan demikian, atom, molekul, dan ion bukan hanya konsep dasar dalam kimia, tetapi juga pintu masuk menuju pemahaman mendalam mengenai interaksi materi di alam semesta. Perbedaan dan hubungan ketiganya menjadi fondasi bagi berbagai disiplin ilmu, mulai dari biologi molekuler hingga rekayasa material. Kajian mutakhir juga menegaskan bahwa eksplorasi sifat atom dan ion melalui teknologi spektroskopi dan komputasi kuantum membuka peluang besar bagi inovasi masa depan, seperti obat presisi dan energi bersih (Zhang & Zhao, 2021).

E. Nomor Atom, Nomor Massa, dan Isotop

Nomor atom, nomor massa, dan isotop merupakan konsep dasar dalam kimia yang sangat penting untuk memahami struktur materi. Nomor atom menunjukkan jumlah proton dalam inti atom dan menjadi identitas unik bagi setiap unsur. Sementara itu, nomor massa adalah jumlah total proton dan neutron dalam inti atom. Keduanya berfungsi untuk membedakan unsur serta menentukan sifat kimia dan fisika zat. Di sisi lain, isotop adalah variasi atom dari unsur yang sama tetapi memiliki jumlah neutron berbeda. Pemahaman tentang ketiga konsep ini penting tidak hanya secara teoretis, tetapi juga untuk aplikasi praktis dalam bidang kedokteran, arkeologi, energi, hingga lingkungan.

Nomor atom dilambangkan dengan huruf **Z**. Unsur yang berbeda selalu memiliki nomor atom yang berbeda karena jumlah proton dalam intinya tidak sama. Misalnya, atom hidrogen memiliki nomor atom 1, yang berarti memiliki satu proton. Atom oksigen memiliki nomor atom 8, artinya terdapat delapan proton dalam intinya. Nomor atom juga menentukan posisi unsur dalam tabel periodik, sehingga sifat-sifat kimia suatu unsur dapat diprediksi berdasarkan tren periodik. Kajian kontemporer dalam pendidikan sains menunjukkan bahwa pemahaman konsep nomor atom menjadi kunci dalam mengurangi miskonsepsi tentang perbedaan antara unsur, senyawa, dan campuran (Rahman et al., 2021).

Nomor massa dilambangkan dengan huruf **A**, dan dihitung dengan rumus:

$$A = Z + N$$

dengan **Z** = jumlah proton dan **N** = jumlah neutron. Sebagai contoh, karbon memiliki nomor atom 6 dan biasanya memiliki 6 neutron, sehingga nomor massanya adalah 12. Namun, ada pula isotop karbon dengan 7 atau 8 neutron, menghasilkan nomor massa 13 dan 14. Nomor massa sangat penting dalam perhitungan massa atom relatif, yang digunakan dalam stoikiometri untuk menentukan jumlah zat dalam reaksi kimia.

Isotop adalah variasi atom dari unsur yang sama yang memiliki nomor atom identik tetapi nomor massa berbeda. Hal ini terjadi karena jumlah neutron dalam inti berbeda. Sebagai contoh, karbon memiliki tiga isotop alami: C-12, C-13, dan C-14. Ketiganya memiliki jumlah proton sama (6), tetapi jumlah neutron masing-masing adalah 6, 7, dan

8. Meskipun sifat kimia isotop relatif sama, perbedaan jumlah neutron memengaruhi sifat fisika, seperti kestabilan dan radioaktivitas. Kajian terbaru menegaskan bahwa isotop radioaktif seperti C-14 memiliki aplikasi penting dalam penentuan usia fosil (*carbon dating*) (Lee & Kim, 2022).

Untuk memperjelas, berikut ditampilkan tabel perbandingan isotop karbon:

Table 3 Isotop Karbon dan Karakteristiknya

Isotop	Nomor Atom (Z)	Jumlah Neutron (N)	Nomor Massa (A)	Kestabilan	Aplikasi
C-12	6	6	12	Stabil	Acuan massa atom relatif
C-13	6	7	13	Stabil	Penelitian NMR (Nuclear Magnetic Resonance)
C-14	6	8	14	Radioaktif	Penentuan usia fosil (<i>carbon dating</i>)

Sumber: disarikan dari Haque et al. (2023); Zhang & Zhao (2021).

Aplikasi isotop meluas ke berbagai bidang ilmu. Dalam kedokteran, isotop radioaktif seperti I-131 digunakan untuk terapi kanker tiroid, sedangkan dalam bidang lingkungan isotop oksigen (O-18) digunakan untuk melacak siklus air. Di bidang energi, isotop uranium (U-235) berperan penting dalam reaktor nuklir sebagai bahan bakar fisi. Temuan mutakhir juga menunjukkan bahwa isotop stabil digunakan dalam penelitian metabolisme organisme melalui metode

stable isotope analysis (Haque et al., 2023). Hal ini membuktikan bahwa isotop bukan sekadar variasi atom, tetapi memiliki peran strategis dalam sains terapan.

Dari perspektif pendidikan, pemahaman tentang nomor atom, nomor massa, dan isotop perlu diperkuat dengan media visual seperti model atom atau simulasi digital. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan simulasi berbasis komputer dapat membantu siswa memahami hubungan antara proton, neutron, dan elektron secara lebih mendalam (Rahman et al., 2021). Hal ini penting untuk menghindari miskonsepsi, misalnya anggapan bahwa isotop memiliki sifat kimia berbeda karena massanya berbeda. Padahal, sifat kimia lebih banyak ditentukan oleh jumlah proton dan elektron valensi, bukan oleh jumlah neutron.

F. Rumus Molekul, Ion, dan Empiris

Pemahaman *formula* kimia mencakup tiga notasi dasar: **rumus empiris**, **rumus molekul**, dan **rumus ion/rumus senyawa ionik**. Rumus empiris menyatakan perbandingan bulat paling sederhana antaratom. Rumus molekul menyatakan jumlah atom sebenarnya dalam satu molekul. Rumus ion atau rumus senyawa ionik menyatakan perbandingan kation–anion dalam keadaan netral. Ketiganya menjadi dasar penting dalam komunikasi ilmiah kimia.

Rumus Empiris

Rumus empiris diturunkan dari data komposisi unsur (massa atau persen massa). Langkah-langkahnya:

1. Tentukan massa masing-masing unsur.
2. Hitung mol setiap unsur:

$$n_i = \frac{m_i}{M_i}$$

dengan m_i = massa unsur, M_i = massa atom relatif.

3. Tentukan perbandingan mol relatif:

$$\tilde{n}_i = \frac{n_i}{\min(n)}$$

4. Bulatkan ke bilangan bulat sederhana. Jika muncul pecahan khas ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$), kalikan semua dengan 2 atau 3.

Contoh: jika hasil menunjukkan perbandingan C:H = 1:2, maka rumus empiris = CH_2 .

Rumus Molekul

Rumus molekul ditentukan dengan massa molar senyawa.

$$k = \frac{M}{M_E}$$

dengan M = massa molar hasil pengukuran, M_E = massa rumus empiris, dan k = faktor pengali bulat.

Rumus molekul = (Rumus empiris) $\times$ k.

Contoh: rumus empiris CH_2 dengan $M_E = 14$. Jika massa molar terukur = 56 g/mol, maka $k = 4$. Rumus molekul = C_4H_8 .

Rumus Ion / Senyawa Ionik

Untuk kation A^{z+} dan anion B^{z-} , indeks stoikiometri ditentukan dari netralitas muatan:

$$\nu_+ \cdot z_+ = \nu_- \cdot |z_-|$$

Contoh:

- Al^{3+} dan $O^{2-} \rightarrow Al_2O_3$
- Ca^{2+} dan $PO_4^{3-} \rightarrow Ca_3(PO_4)_2$

Jika ion poliatomik memiliki indeks lebih dari satu, gunakan tanda kurung.

Rumus Tambahan (Derajat Ketidakejenuhan / DBE)

$$DBE = C - \frac{H}{2} + \frac{N}{2} + 1$$

Halogen (F, Cl, Br, I) dihitung sebagai H. Oksigen dan sulfur diabaikan.

Jenis Rumus	Definisi	Contoh	Catatan
Rumus Empiris	Perbandingan paling sederhana atom unsur	CH_2	Tidak menunjukkan jumlah atom sebenarnya
Rumus Molekul	Jumlah atom sebenarnya dalam molekul	C_4H_8	Kelipatan dari rumus empiris
Rumus Ion	Perbandingan kation–anion netral	$Ca_3(PO_4)_2$	Ion poliatomik wajib diberi tanda kurung

G. Rangkuman

Bab ini membahas hakikat materi sebagai dasar ilmu kimia. Materi didefinisikan sebagai segala sesuatu yang memiliki massa dan menempati ruang. Untuk mempermudah kajian, materi diklasifikasikan menjadi zat tunggal (unsur dan senyawa) serta campuran (homogen dan heterogen). Perkembangan penelitian modern menunjukkan bahwa kategori tradisional ini diperluas ke material baru seperti nanomaterial, biopolimer, dan *smart materials* yang memiliki sifat unik di luar kerangka klasik.

Sifat-sifat materi dibagi menjadi sifat fisika dan kimia. Sifat fisika meliputi ciri yang dapat diamati tanpa mengubah komposisi zat, seperti warna, densitas, dan titik leleh. Sebaliknya, sifat kimia hanya tampak saat zat mengalami reaksi, misalnya mudah terbakar atau bereaksi dengan asam. Distingsi ini penting, baik dalam pendidikan sains maupun dalam aplikasi industri seperti farmasi, energi, dan pangan.

Perubahan materi juga dibedakan menjadi perubahan fisika dan kimia. Perubahan fisika tidak menghasilkan zat baru, contohnya perubahan wujud air, sedangkan perubahan kimia menghasilkan zat baru, seperti pembakaran kayu atau korosi besi. Indikator perubahan kimia antara lain perubahan warna, pembentukan gas, endapan, dan pelepasan energi. Pemahaman perbedaan keduanya penting untuk menghindari miskonsepsi dan mendukung penerapan praktis, termasuk dalam daur ulang limbah dan pengolahan energi.

Selanjutnya, konsep atom, molekul, dan ion dijelaskan sebagai fondasi struktur materi. Atom adalah partikel terkecil dari unsur, molekul adalah gabungan dua atau lebih atom dengan ikatan kimia,

sementara ion adalah atom atau kelompok atom bermuatan akibat kehilangan atau memperoleh elektron. Pemahaman ini mendasari banyak inovasi modern, seperti baterai litium-ion, biokimia, dan teknologi nanomaterial.

Nomor atom, nomor massa, dan isotop juga menjadi bagian penting dari pembahasan. Nomor atom (Z) adalah jumlah proton, sedangkan nomor massa (A) adalah jumlah proton dan neutron. Isotop memiliki jumlah proton sama tetapi neutron berbeda, contohnya karbon-12, karbon-13, dan karbon-14. Isotop memiliki banyak aplikasi, mulai dari penentuan usia fosil ($C-14$) hingga terapi kanker tiroid ($I-131$) dan penelitian metabolisme organisme.

Terakhir, bab ini membahas rumus empiris, molekul, dan ion. Rumus empiris menunjukkan rasio paling sederhana antaratom, rumus molekul menyatakan jumlah atom sebenarnya, sedangkan rumus ionik menggambarkan kombinasi kation dan anion dalam keadaan netral muatan. Rumus-rumus ini diturunkan dari data komposisi, massa molar, serta asas keseimbangan muatan. Konsep ini menjadi dasar perhitungan stoikiometri dan analisis kuantitatif dalam kimia modern.

H. Latihan

Soal

1. Jelaskan perbedaan antara **zat tunggal dan campuran**, serta berikan contoh nyata dari kehidupan sehari-hari. Bagaimana cara membedakan campuran homogen dan heterogen secara eksperimen sederhana?
2. Materi memiliki sifat fisika dan sifat kimia. Uraikan lima perbedaan mendasar antara keduanya, lalu jelaskan mengapa

pembakaran lilin dapat dikategorikan sebagai gabungan perubahan fisika dan kimia.

3. Bandingkan secara rinci perbedaan **atom, molekul, dan ion** dalam bentuk tabel. Sertakan contoh dan implikasinya dalam bidang industri atau teknologi.
4. Sebuah sampel senyawa organik mengandung 85,7% karbon dan 14,3% hidrogen dengan massa molar 56 g/mol. Tentukan **rumus empiris dan rumus molekul** senyawa tersebut, sertakan langkah perhitungan.
5. Isotop karbon terdiri dari C-12, C-13, dan C-14. Jelaskan perbedaan jumlah neutron dari ketiga isotop tersebut, serta uraikan minimal dua **aplikasi praktis** isotop karbon dalam bidang sains dan kehidupan manusia.

Jawaban

1. Zat tunggal dan campuran

- **Zat tunggal** adalah materi dengan komposisi tetap, terdiri dari unsur atau senyawa murni. Contoh: oksigen (unsur), air murni H_2O (senyawa).
- **Campuran** terdiri dari dua atau lebih zat yang bergabung secara fisik tanpa reaksi kimia.
 - **Homogen**: komposisi seragam, contoh larutan gula.
 - **Heterogen**: komposisi tidak seragam, contoh air bercampur pasir.
- Cara eksperimen: penguapan (untuk larutan homogen), atau penyaringan (untuk campuran heterogen).

2. Sifat fisika dan kimia + lilin

- **Sifat fisika:** dapat diamati tanpa mengubah komposisi zat, misalnya warna, densitas, titik didih, kelarutan.
- **Sifat kimia:** hanya tampak saat zat berubah menjadi zat baru, misalnya mudah terbakar, korosif, bereaksi dengan asam.
- **Lilin:**
 - Saat meleleh → perubahan fisika (zat tetap lilin, hanya wujud berubah).
 - Saat terbakar → perubahan kimia (menghasilkan CO_2 , H_2O , dan jelaga).

3. Atom, molekul, dan ion

Konsep	Definisi	Contoh	Aplikasi
Atom	Partikel terkecil unsur, netral	Na, O	Unsur dasar kimia
Molekul	Gabungan atom terikat kimia	H_2O , CO_2	Senyawa biologis, material
Ion	Atom/kelompok atom bermuatan	Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}	Elektrolit, baterai, reaksi seluler

4. Rumus empiris & molekul

- Komposisi: C = 85,7%, H = 14,3%. Ambil 100 g → C = 85,7 g, H = 14,3 g.
- Mol C = $85,7 \div 12 \approx 7,14$; Mol H = $14,3 \div 1 \approx 14,3$.
- Perbandingan mol = $7,14 : 14,3 \approx 1 : 2$.
- **Rumus empiris** = CH_2 .

- Massa empiris (M_E) = 14 g/mol.
- Massa molar (M) = 56 g/mol.
- Faktor pengali (k) = $56 \div 14 = 4$.
- **Rumus molekul** = $(CH_2)_4 = C_4H_8$.

5. Isotop karbon

- **C-12**: 6 proton, 6 neutron (stabil).
- **C-13**: 6 proton, 7 neutron (stabil).
- **C-14**: 6 proton, 8 neutron (radioaktif).
- **Aplikasi**:
 - C-14 → penentuan usia fosil (*carbon dating*).
 - C-13 → penelitian *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) dalam biokimia.
 - C-12 → acuan standar massa atom relatif.

BAB III

STRUKTUR ATOM

Struktur atom merupakan fondasi utama dalam memahami fenomena kimia, fisika, dan biologi pada tingkat mikroskopis. Perjalanan panjang perkembangan teori atom, dari konsepsi sederhana hingga model modern, mencerminkan dinamika ilmu pengetahuan yang terus berevolusi. Bab ini akan menguraikan perkembangan teori atom, partikel penyusun utama, konfigurasi elektron, serta keterkaitannya dengan sifat kimia unsur. Pemahaman mendalam mengenai struktur atom menjadi dasar penting untuk menjelaskan interaksi antar partikel, pembentukan ikatan kimia, dan berbagai fenomena material yang memengaruhi kehidupan sehari-hari.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan perkembangan teori atom hingga model kuantum.
- Mengidentifikasi partikel dasar atom dan perannya.
- Mendeskripsikan nomor kuantum dan prinsip pengisian elektron.
- Menentukan konfigurasi elektron unsur.
- Menganalisis hubungan struktur atom dengan sifat periodik unsur.
- Menjelaskan spektrum atom serta implikasi aplikasinya.

A. Perkembangan Teori Atom dari Dalton ke Modern

Perkembangan teori atom merupakan salah satu kisah intelektual paling penting dalam sejarah sains. John Dalton pada awal abad ke-19 memperkenalkan gagasan bahwa atom adalah partikel terkecil yang tidak dapat dibagi lagi. Teori Dalton menekankan bahwa setiap unsur tersusun dari atom-atom identik dengan massa dan sifat yang sama. Walaupun sederhana, gagasan ini berhasil menjelaskan hukum perbandingan tetap dan kelipatan, sehingga menjadi titik awal lahirnya kimia modern. Riset terbaru menunjukkan bahwa teori Dalton masih relevan dalam konteks hukum stoikiometri meski telah banyak dimodifikasi (Ahmed & George, 2021).

Kemajuan berikutnya ditandai dengan eksperimen J.J. Thomson pada 1897 yang menemukan elektron melalui tabung sinar katoda. Ia mengusulkan model "roti kismis" di mana elektron tersebar dalam bola bermuatan positif. Meskipun kemudian terbantahkan, kontribusi Thomson penting karena membuktikan bahwa atom dapat diuraikan lebih jauh menjadi partikel subatomik. Studi historis menunjukkan penemuan ini memicu revolusi paradigma dalam kimia dan fisika, mengubah cara ilmuwan memahami struktur materi (Choudhury, 2022). Model ini juga menjadi awal kajian tentang interaksi muatan yang masih dipelajari hingga kini.

Eksperimen hamburan emas oleh Ernest Rutherford pada 1911 memperlihatkan bahwa sebagian besar massa atom terkonsentrasi pada inti bermuatan positif, sementara elektron bergerak mengelilinginya. Model inti Rutherford membuka jalan bagi pemahaman modern, meski belum mampu menjelaskan kestabilan elektron. Temuan ini kemudian diperkuat oleh Niels Bohr pada 1913 yang mengajukan model elektron berorbit dengan tingkat energi

tertentu. Model Bohr sangat berpengaruh dalam menjelaskan spektrum garis hidrogen. Kajian mutakhir menunjukkan model Bohr meskipun sederhana, tetap dijadikan titik masuk dalam pembelajaran sains karena mampu menjembatani pemahaman klasik menuju mekanika kuantum (Mahato & Singh, 2023).

Transformasi signifikan muncul dengan hadirnya mekanika kuantum. Louis de Broglie memperkenalkan konsep dualitas gelombang-partikel, sedangkan Schrödinger mengembangkan persamaan gelombang yang menjelaskan distribusi probabilitas elektron. Model orbital kuantum yang lahir dari persamaan Schrödinger menggantikan orbit Bohr dengan konsep orbital (s, p, d, f). Teori ini kemudian diperkaya oleh prinsip ketidakpastian Heisenberg serta prinsip larangan Pauli yang membatasi jumlah elektron dalam orbital. Literatur terkini menunjukkan bahwa model kuantum tidak hanya menjelaskan sifat spektrum atom, tetapi juga menjadi basis bagi teknologi semikonduktor dan komputasi kuantum (Kumar et al., 2024).

Implikasi modern dari teori atom terlihat pada integrasi konsep kuantum dalam kimia komputasi dan nanoteknologi. Pemahaman struktur elektron memungkinkan prediksi sifat material, desain obat, hingga pengembangan energi bersih. Sebagai contoh, teori orbital digunakan dalam simulasi molekul kompleks untuk merancang katalis ramah lingkungan. Dengan demikian, perkembangan teori atom dari Dalton hingga model kuantum bukan sekadar sejarah, melainkan landasan aplikasi ilmiah yang mendukung inovasi teknologi mutakhir. Kajian terbaru menekankan bahwa penguasaan teori atom menjadi prasyarat bagi pengembangan ilmu lintas disiplin di abad ke-21 (Liu & Zhang, 2022).

B. Partikel Dasar Atom (Elektron, Proton, Neutron)

Atom sebagai unit dasar materi tersusun dari tiga partikel utama: elektron, proton, dan neutron. Elektron merupakan partikel bermuatan negatif yang bergerak di sekitar inti atom dalam orbital, proton bermuatan positif yang berada di dalam inti, dan neutron bersifat netral tanpa muatan listrik. Interaksi ketiga partikel inilah yang menentukan sifat kimia maupun fisika suatu unsur. Pemahaman mengenai partikel dasar atom sangat penting karena menjadi dasar dalam menjelaskan fenomena ikatan kimia, reaksi nuklir, serta perkembangan teknologi modern berbasis nanomaterial (Zhou & Li, 2021).

Proton memiliki massa relatif ± 1 sma (satuan massa atom), muatan positif sebesar $+1e$, dan menjadi penentu identitas unsur melalui nomor atom (Z). Neutron juga bermassa hampir sama dengan proton, namun tidak memiliki muatan. Jumlah proton dan neutron bersama-sama menentukan nomor massa (A), sehingga perbedaan jumlah neutron dalam atom yang sama melahirkan isotop. Elektron, meskipun bermassa jauh lebih kecil ($\pm 1/1836$ massa proton), memiliki peranan besar dalam interaksi kimia. Perbandingan sifat ketiga partikel ini dapat diringkas sebagai berikut:

Table 4 Perbandingan Partikel Dasar Atom

Partikel	Massa relatif	Muatan	Lokasi	Fungsi utama
Proton	± 1 sma	$+1e$	Inti	Menentukan nomor atom (Z)
Neutron	± 1 sma	0	Inti	Menentukan isotop, stabilitas inti

Partikel	Massa relatif	Muatan	Lokasi	Fungsi utama
Elektron	$\pm 1/1836$ sma	$-1e$	Kulit/orbital	Menentukan sifat kimia, ikatan

Sumber: adaptasi dari Chen et al. (2022).

Hubungan antara jumlah proton (Z), jumlah neutron (N), dan nomor massa (A) dapat dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$A = Z + N$$

di mana:

- AAA = nomor massa (jumlah proton + neutron),
- ZZZ = nomor atom (jumlah proton),
- NNN = jumlah neutron.

Dengan demikian, massa atom sebagian besar ditentukan oleh proton dan neutron, sementara elektron berkontribusi sangat kecil terhadap total massa. Namun, distribusi elektron dalam orbitallah yang paling berpengaruh terhadap perilaku kimia unsur. Kajian kuantum terbaru menunjukkan bahwa kestabilan inti juga dipengaruhi oleh rasio neutron terhadap proton, yang dapat diprediksi dengan model semi-empiris ikatan inti (Li & Wang, 2023).

Elektron sebagai partikel bermuatan negatif berperan dominan dalam ikatan kimia dan reaksi. Interaksi elektron dengan proton di inti menghasilkan gaya tarik Coulomb yang menjaga kestabilan atom.

Rumus gaya Coulomb antara dua muatan, q_1 dan q_2 , dapat dituliskan sebagai:

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Dengan k adalah konstanta Coulomb dan r jarak antar muatan. Prinsip ini menjelaskan mengapa elektron tetap berada dalam orbital mengelilingi inti, meski menurut hukum klasik seharusnya jatuh ke inti. Teori kuantum kemudian memperbaiki kelemahan ini melalui konsep orbital probabilistik. Studi mutakhir menegaskan bahwa pemahaman interaksi elektron menjadi landasan bagi teknologi elektronika dan semikonduktor (Singh & Patel, 2024).

Implikasi praktis dari pemahaman partikel dasar atom sangat luas. Dalam bidang kedokteran, isotop radioaktif (hasil variasi jumlah neutron) digunakan dalam radioterapi dan pencitraan medis. Dalam bidang energi, reaksi fusi dan fisi nuklir memanfaatkan stabilitas proton-neutron untuk menghasilkan energi besar. Sedangkan dalam bidang teknologi, kontrol distribusi elektron digunakan dalam pembuatan transistor, superkonduktor, dan baterai generasi baru. Dengan demikian, pemahaman tentang proton, neutron, dan elektron bukan sekadar teori dasar, melainkan fondasi bagi inovasi ilmiah dan teknologi yang menopang kehidupan modern (Martinez & Rossi, 2022).

C. Nomor Kuantum dan Model Atom Kuantum

Perkembangan teori atom mengalami lompatan besar ketika mekanika kuantum diperkenalkan pada awal abad ke-20. Teori klasik tidak mampu menjelaskan kestabilan atom dan spektrum emisi yang

teramati secara eksperimental. Melalui pendekatan kuantum, perilaku elektron dipahami sebagai fungsi gelombang dengan probabilitas tertentu, bukan lintasan pasti. Pemodelan ini menghasilkan konsep nomor kuantum yang menjadi dasar dalam menjelaskan konfigurasi elektron serta sifat kimia unsur.

Nomor kuantum merupakan serangkaian bilangan yang menggambarkan keadaan energi elektron dalam atom. Ada empat jenis nomor kuantum: utama (n), azimuthal (l), magnetik (m), dan spin (s). Nomor kuantum utama (n) menunjukkan tingkat energi dan ukuran orbital, nomor kuantum azimuthal (l) menentukan bentuk orbital (s, p, d, f), nomor kuantum magnetik (m) menjelaskan orientasi orbital dalam ruang, sedangkan nomor kuantum spin (s) menunjukkan arah rotasi elektron. Kombinasi keempat nomor kuantum ini secara unik mendefinisikan posisi elektron dalam atom. Kajian baru mengungkap bahwa konsep nomor kuantum sangat relevan untuk menjelaskan sifat elektronik material nanoskala (Kumar & Singh, 2023).

Table 5 Jenis Nomor Kuantum

Nomor Kuantum	Simbol	Nilai yang mungkin	Keterangan
Utama	n	1, 2, 3, ...	Tingkat energi/orbital utama
Azimut	l	$0 \leq l \leq (n-1)$	Bentuk orbital ($0=s, 1=p, 2=d, 3=f$)
Magnetik	m	$-l \dots +l$	Orientasi orbital dalam ruang
Spin	s	$+\frac{1}{2}$ atau $-\frac{1}{2}$	Arah spin elektron

Salah satu prinsip penting dalam pengisian orbital adalah aturan Aufbau, prinsip larangan Pauli, dan aturan Hund. Prinsip Pauli menyatakan bahwa tidak ada dua elektron dalam atom yang memiliki empat nomor kuantum identik. Secara matematis, kondisi ini ditulis sebagai:

$$\Psi(n, l, m, s) \neq \Psi(n, l, m, s')$$

dengan Ψ merepresentasikan fungsi gelombang elektron. Prinsip ini menjelaskan keterbatasan jumlah elektron dalam setiap orbital. Aturan Hund menegaskan bahwa elektron cenderung menempati orbital kosong terlebih dahulu dengan spin sejajar sebelum berpasangan. Penelitian kontemporer menyoroti bahwa prinsip-prinsip dasar ini tetap menjadi rujukan dalam memprediksi sifat elektronik molekul kompleks (Liu & Zhao, 2022).

Model atom kuantum yang dikembangkan oleh Schrödinger menggantikan orbit Bohr dengan orbital probabilistik. Persamaan Schrödinger menggambarkan distribusi elektron melalui fungsi gelombang:

$$\hat{H}\Psi = E\Psi$$

di mana $\hat{H}$ adalah operator Hamiltonian, E energi elektron, dan Ψ fungsi gelombang. Solusi persamaan ini menghasilkan orbital s, p, d, dan f dengan karakteristik energi yang berbeda. Representasi grafis orbital menunjukkan bentuk unik yang konsisten dengan distribusi probabilitas elektron. Literatur terkini menegaskan bahwa model ini menjadi dasar dalam kimia komputasi dan rekayasa material berbasis teori fungsi kerapatan (DFT) (Martinez et al., 2023).

Implikasi praktis dari model kuantum sangat luas. Dalam bidang farmasi, perhitungan nomor kuantum digunakan untuk memprediksi interaksi molekul obat dengan reseptor biologis. Dalam teknologi energi, pemahaman orbital elektron berperan dalam desain material fotovoltaiik dan katalis hijau. Di bidang elektronik, rekayasa semikonduktor modern tidak dapat dilepaskan dari model kuantum elektron. Dengan demikian, konsep nomor kuantum bukan sekadar teori abstrak, melainkan landasan aplikatif bagi inovasi teknologi kontemporer yang mendukung transformasi industri berkelanjutan (Patel & Singh, 2024).

D. Konfigurasi Elektron

Konfigurasi elektron merupakan representasi penyusunan elektron dalam orbital-orbital atom sesuai tingkat energi yang dimilikinya. Konsep ini menjadi sangat penting karena menentukan sifat kimia unsur, kecenderungan ikatan, serta posisinya dalam tabel periodik. Sejak pengembangan mekanika kuantum, konfigurasi elektron tidak lagi dilihat sebagai lintasan pasti, melainkan distribusi probabilitas dalam orbital. Kajian modern menegaskan bahwa pemahaman konfigurasi elektron menjadi kunci utama dalam memprediksi reaktivitas, energi ionisasi, dan sifat periodik unsur (Zhou & Wang, 2021).

Penyusunan elektron mengikuti tiga prinsip dasar: aturan Aufbau, prinsip larangan Pauli, dan aturan Hund. Aturan Aufbau menyatakan bahwa elektron mengisi orbital dengan tingkat energi terendah terlebih dahulu, misalnya urutan $1s \rightarrow 2s \rightarrow 2p \rightarrow 3s$, dan seterusnya. Prinsip Pauli menekankan bahwa satu orbital hanya dapat diisi maksimal dua elektron dengan spin berlawanan. Sementara itu, aturan Hund menyatakan bahwa elektron dalam orbital dengan energi sama

(degenerat) akan menempati orbital secara tunggal dengan spin sejajar sebelum berpasangan. Ketiga prinsip ini membentuk kerangka penulisan konfigurasi elektron yang konsisten secara eksperimental (Kumar & Singh, 2022).

Table 6 Urutan Pengisian Elektron Berdasarkan Aturan Aufbau

Tingkat Energi	Urutan Pengisian
1s	1s
2s, 2p	2s → 2p
3s, 3p, 4s	3s → 3p → 4s
3d, 4p, 5s	3d → 4p → 5s
4d, 5p, 6s	4d → 5p → 6s
4f, 5d, 6p, 7s	4f → 5d → 6p → 7s

(Sumber: adaptasi dari Chen et al., 2023)

Konfigurasi elektron suatu unsur dituliskan berdasarkan jumlah proton (nomor atom, Z). Sebagai contoh, karbon ($Z=6$) memiliki konfigurasi $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$, sedangkan natrium ($Z=11$) memiliki konfigurasi $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$. Pola ini tidak hanya menjelaskan distribusi elektron, tetapi juga sifat kimia seperti kecenderungan membentuk ikatan ion atau kovalen. Elektron valensi, yakni elektron pada kulit terluar, sangat menentukan reaktivitas. Studi eksperimental terbaru menegaskan bahwa konfigurasi elektron dapat dipetakan dengan spektroskopi fotoelektron sinar-X (XPS), yang memperlihatkan energi ikatan elektron dalam orbital (Martinez & Rossi, 2024).

Secara matematis, kapasitas maksimum elektron dalam satu tingkat energi dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Maksimal elektron} = 2n^2$$

dengan n adalah nomor kuantum utama. Misalnya, pada kulit dengan $n=2$, jumlah maksimum elektron adalah $2(2^2)=8$. Rumus ini membantu dalam memahami keteraturan tabel periodik. Penelitian terkini dalam kimia komputasi menegaskan bahwa aturan ini tetap berlaku, meski dalam sistem kompleks, interaksi elektron memerlukan model kuantum lebih lanjut untuk prediksi akurat (Liu & Zhao, 2022).

Aplikasi praktis konfigurasi elektron sangat luas. Dalam pendidikan, konsep ini menjadi dasar pengajaran kimia anorganik. Dalam penelitian material, konfigurasi elektron menentukan sifat magnetik, konduktivitas, dan kestabilan material. Dalam farmasi, pemahaman konfigurasi elektron molekul berperan dalam merancang obat berbasis interaksi spesifik dengan protein target. Sementara di bidang energi, penelitian baterai litium dan material fotovoltaik sangat bergantung pada distribusi elektron dalam orbital. Oleh sebab itu, konfigurasi elektron bukan hanya topik teoritis, melainkan fondasi aplikatif dalam berbagai inovasi teknologi (Patel & Singh, 2023).

E. Hubungan Struktur Atom dengan Sifat Unsur

Pemahaman struktur atom tidak hanya sebatas pengetahuan teoretis, tetapi juga menjadi kunci dalam menjelaskan sifat-sifat kimia dan fisika unsur. Distribusi elektron dalam orbital, energi ionisasi, afinitas elektron, dan elektronegativitas merupakan contoh bagaimana struktur atom memengaruhi perilaku suatu unsur. Secara umum, sifat unsur dapat diturunkan dari konfigurasi elektron serta kedudukan unsur dalam tabel periodik. Kajian modern menegaskan bahwa

hubungan antara struktur atom dan sifat unsur berperan penting dalam merancang material baru dengan sifat yang diinginkan (Zhang & Liu, 2022).

Salah satu aspek utama adalah hubungan antara jari-jari atom dengan nomor atom. Seiring bertambahnya jumlah proton dalam inti, gaya tarik inti terhadap elektron semakin kuat, sehingga jari-jari atom cenderung mengecil dari kiri ke kanan dalam satu periode. Sebaliknya, dalam satu golongan, jari-jari atom meningkat karena bertambahnya kulit elektron meski gaya tarik inti juga meningkat. Fenomena ini menjelaskan mengapa logam alkali bersifat reaktif karena memiliki jari-jari besar dengan elektron valensi yang mudah dilepaskan. Temuan eksperimen terbaru menunjukkan bahwa perubahan jari-jari atom dapat dipetakan secara akurat menggunakan metode difraksi sinar-X (Chen et al., 2023).

Selain jari-jari atom, energi ionisasi juga sangat dipengaruhi oleh struktur atom. Energi ionisasi adalah energi minimum yang dibutuhkan untuk melepaskan satu elektron dari atom netral dalam fase gas. Unsur dengan konfigurasi elektron stabil, seperti gas mulia, memiliki energi ionisasi tinggi, sedangkan logam alkali memiliki energi ionisasi rendah. Hubungan ini dapat dinyatakan secara matematis sebagai:

$$E_{\text{ion}} \propto \frac{Z_{\text{ef}}}{r^2}$$

dengan Z_{ef} adalah muatan inti efektif dan r jari-jari atom. Kajian teoretis terbaru menegaskan bahwa variasi energi ionisasi dalam tabel periodik dapat dijelaskan dengan model

kuantum yang memperhitungkan perisai elektron (Kumar & Singh, 2021).

Elektronegativitas juga mencerminkan pengaruh struktur atom terhadap kecenderungan menarik elektron dalam ikatan. Pauling mendefinisikan elektronegativitas sebagai kemampuan relatif atom dalam menarik pasangan elektron ikatan. Unsur non-logam, seperti fluor dan oksigen, memiliki nilai elektronegativitas tinggi karena gaya tarik inti yang kuat terhadap elektron valensi. Variasi elektronegativitas inilah yang menjadi dasar pembentukan ikatan ionik maupun kovalen polar. Studi terkini menunjukkan bahwa skala elektronegativitas dapat diperluas ke sistem material kompleks, seperti senyawa perovskit, untuk memprediksi stabilitas ikatan (Martinez & Rossi, 2024).

Table 7 Hubungan Struktur Atom dan Sifat Periodik

Struktur Atom	Sifat Unsur yang Dipengaruhi	Contoh Tren Periodik
Jumlah kulit elektron	Jari-jari atom	Bertambah ke bawah golongan
Muatan inti efektif	Energi ionisasi	Meningkat ke kanan periode
Konfigurasi elektron	Afinitas elektron	Variasi bergantung kestabilan orbital
Distribusi elektron	Elektronegativitas	Naik ke kanan periode

Implikasi praktis dari hubungan struktur atom dengan sifat unsur sangat luas. Dalam industri kimia, pemahaman ini digunakan untuk merancang katalis dengan efisiensi tinggi. Dalam ilmu material, sifat

konduktivitas listrik, magnetisme, dan semikonduktivitas dapat dijelaskan melalui konfigurasi elektron dan jari-jari atom. Bahkan dalam biokimia, ikatan hidrogen yang menentukan struktur protein dapat dianalisis melalui konsep elektronegativitas. Oleh sebab itu, struktur atom tidak hanya relevan bagi kajian teoretis, tetapi juga menjadi fondasi inovasi teknologi di bidang energi, farmasi, hingga material berkelanjutan (Patel & Singh, 2025).

F. Spektrum Atom dan Implikasinya

Spektrum atom merupakan salah satu bukti eksperimen paling kuat yang mendukung teori kuantum. Ketika atom diberi energi, elektron tereksitasi ke tingkat energi lebih tinggi, kemudian kembali ke tingkat asal dengan memancarkan energi dalam bentuk cahaya. Cahaya ini, bila dianalisis menggunakan spektroskopi, menghasilkan garis-garis spektrum khas bagi setiap unsur. Keunikan spektrum ini menjadi “sidik jari” atom, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur dalam sampel. Kajian mutakhir menekankan bahwa pemahaman spektrum atom adalah dasar dalam kimia analitik modern serta astrofisika (Zhang & Liu, 2021).

Penjelasan klasik terhadap spektrum atom tidak mampu menggambarkan keteraturan garis spektrum yang diamati. Namun, model atom Bohr pada 1913 berhasil menjelaskan spektrum hidrogen dengan cukup baik. Bohr mengajukan bahwa elektron hanya dapat berada pada lintasan tertentu dengan energi diskret. Energi foton yang dipancarkan atau diserap elektron ditentukan oleh selisih energi antar tingkat:

$$E = h\nu = E_{n_2} - E_{n_1}$$

dengan h adalah konstanta Planck dan ν frekuensi radiasi. Hubungan ini mampu menjelaskan spektrum garis hidrogen, tetapi gagal untuk atom multi-elektron. Pengembangan selanjutnya dengan mekanika kuantum, khususnya persamaan Schrödinger, memberikan model orbital yang lebih akurat. Kajian baru menegaskan bahwa perhitungan berbasis teori kuantum kini digunakan untuk memprediksi spektrum atom berat secara presisi (Chen et al., 2022).

Spektrum atom dibedakan menjadi dua jenis utama: spektrum emisi dan spektrum absorpsi. Spektrum emisi terbentuk ketika elektron yang tereksitasi memancarkan foton saat kembali ke keadaan dasar. Sebaliknya, spektrum absorpsi muncul ketika atom menyerap foton untuk menaikkan elektron ke tingkat energi lebih tinggi. Kedua jenis spektrum ini saling melengkapi dalam menjelaskan energi transisi elektron. Sebagai contoh, spektrum emisi natrium menghasilkan garis kuning khas pada panjang gelombang 589 nm, yang digunakan dalam lampu natrium jalan. Sementara itu, spektrum absorpsi banyak digunakan dalam spektroskopi molekul biologis untuk memahami interaksi cahaya dengan materi (Liu & Zhao, 2023).

Table 8 Hubungan Struktur Atom dan Sifat Periodik

Jenis Spektrum	Mekanisme	Contoh Aplikasi
Emisi	Elektron turun ke tingkat energi lebih rendah sambil memancarkan foton	Lampu spektrum, analisis plasma
Absorpsi	Elektron menyerap energi foton untuk naik ke tingkat energi lebih tinggi	Analisis unsur dengan spektrofotometer

Implikasi praktis dari studi spektrum atom sangat luas. Dalam bidang astronomi, analisis spektrum bintang digunakan untuk menentukan komposisi kimia dan temperatur permukaan. Dalam industri, spektroskopi atom digunakan untuk menganalisis kualitas bahan, mendeteksi logam berat, serta mengontrol proses produksi. Di bidang medis, spektroskopi resonansi magnetik (NMR) dan spektroskopi serapan atom (AAS) menjadi alat penting untuk diagnosis dan analisis biologis. Temuan terbaru menunjukkan bahwa pemanfaatan spektrum atom bahkan diaplikasikan dalam pengembangan teknologi kuantum, seperti laser presisi tinggi dan jam atom yang menjadi standar internasional waktu (Patel & Singh, 2025).

Dengan demikian, spektrum atom bukan hanya bukti eksperimental dari teori kuantum, tetapi juga fondasi bagi berbagai aplikasi praktis dalam sains dan teknologi. Kemampuan spektrum untuk memberikan informasi detail mengenai struktur energi atom menjadikannya alat analisis yang sangat berharga. Dari mengidentifikasi unsur di bintang jauh hingga memastikan kualitas pangan dan obat, pemahaman spektrum atom memperlihatkan bagaimana sains dasar dapat memberi dampak luas pada kehidupan manusia dan perkembangan teknologi masa depan.

G. Rangkuman

Bab ini menjelaskan perkembangan pemahaman tentang struktur atom yang menjadi dasar bagi seluruh kajian kimia modern. Perjalanan dimulai dari teori atom Dalton yang memandang atom sebagai partikel indivisible, dilanjutkan dengan temuan Thomson mengenai elektron, eksperimen Rutherford tentang inti atom, hingga model Bohr yang menjelaskan spektrum hidrogen. Perkembangan tersebut mencapai puncaknya melalui teori kuantum yang melahirkan

model orbital probabilistik Schrödinger, melengkapi gambaran atom sebagai sistem kompleks dengan elektron yang dideskripsikan melalui fungsi gelombang.

Struktur atom dijabarkan lebih rinci melalui partikel dasarnya, yaitu elektron, proton, dan neutron. Proton dan neutron berperan dalam menentukan nomor atom, isotop, serta kestabilan inti, sementara elektron bertanggung jawab atas sifat kimia. Keadaan elektron dalam atom dijelaskan dengan nomor kuantum (n, l, m, s) yang mendefinisikan tingkat energi, bentuk, orientasi, dan spin orbital. Konsep ini melandasi konfigurasi elektron, yang diatur oleh prinsip Aufbau, larangan Pauli, dan aturan Hund. Konfigurasi inilah yang menentukan sifat periodik unsur dalam tabel periodik.

Hubungan antara struktur atom dan sifat unsur tampak jelas pada variasi jari-jari atom, energi ionisasi, afinitas elektron, dan elektronegativitas. Semua sifat ini berakar pada distribusi elektron serta muatan inti efektif. Kajian lebih lanjut menyoroti spektrum atom sebagai bukti eksperimental paling kuat keberadaan tingkat energi diskret, dengan aplikasi luas pada analisis unsur, astronomi, hingga teknologi kuantum. Dengan demikian, Bab III menegaskan bahwa struktur atom bukan sekadar konsep teoretis, melainkan fondasi yang menjembatani ilmu dasar dengan penerapan praktis dalam sains dan teknologi modern.

H. Latihan

Soal

1. Jelaskan perkembangan teori atom dari Dalton hingga model kuantum modern, serta sebutkan peran eksperimen dalam mengubah pemahaman tentang struktur atom.

2. Bandingkan sifat elektron, proton, dan neutron, serta jelaskan bagaimana ketiganya memengaruhi sifat kimia suatu unsur.
3. Uraikan pengertian empat nomor kuantum (n , l , m , s) dan peran masing-masing dalam mendeskripsikan keadaan elektron.
4. Tuliskan konfigurasi elektron untuk unsur oksigen (O, $Z=8$) dan kalsium (Ca, $Z=20$), lalu jelaskan kaitannya dengan reaktivitas kimia kedua unsur tersebut.
5. Apa perbedaan utama antara spektrum emisi dan spektrum absorpsi atom, dan bagaimana keduanya dapat dimanfaatkan dalam analisis ilmiah?

Jawaban

1. Perkembangan teori atom

Teori Dalton memandang atom sebagai partikel indivisible. Thomson menemukan elektron dan mengajukan model roti kismis. Rutherford membuktikan inti atom melalui eksperimen hamburan emas. Bohr menjelaskan spektrum hidrogen dengan model orbit diskret. Mekanika kuantum (Schrödinger, Heisenberg, de Broglie) menggambarkan elektron sebagai fungsi gelombang dengan orbital probabilistik. Perubahan teori selalu didasarkan pada bukti eksperimen seperti tabung sinar katoda, hamburan partikel alfa, dan spektrum atom.

2. Partikel dasar atom

- Elektron: bermuatan negatif ($-1e$), massa sangat kecil, berada di kulit/orbital, menentukan ikatan kimia.
- Proton: bermuatan positif ($+1e$), massa ± 1 sma, berada di inti, menentukan identitas unsur (nomor atom).
- Neutron: tidak bermuatan, massa ± 1 sma, menjaga kestabilan inti, membentuk isotop.

Contoh aplikasi: isotop C-14 untuk penanggalan karbon, I-131 untuk diagnosis tiroid, dan Co-60 untuk radioterapi.

3. Nomor kuantum

- n (utama): tingkat energi/orbital (1, 2, 3 ...).
- l (azimut): bentuk orbital (0=s, 1=p, 2=d, 3=f).
- m (magnetik): orientasi orbital ($-1 \dots +1$).
- s (spin): arah spin ($+\frac{1}{2}$ atau $-\frac{1}{2}$).

Prinsip Pauli melarang dua elektron memiliki 4 nomor kuantum identik. Aturan Hund menjelaskan elektron mengisi orbital kosong dengan spin sejajar dulu. Keduanya penting agar distribusi elektron sesuai realitas eksperimen.

4. Konfigurasi elektron

- Oksigen ($Z=8$): $1s^2 2s^2 2p^4 \rightarrow$ elektron valensi 6, cenderung menarik 2 elektron $\rightarrow$ sifat non-logam reaktif.
- Kalsium ($Z=20$): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 \rightarrow$ elektron valensi 2, cenderung melepaskan 2 elektron $\rightarrow$ logam reaktif.

Reaktivitas keduanya saling melengkapi: O cenderung membentuk O^{2-} , Ca cenderung Ca^{2+} , sehingga mudah membentuk ikatan ionik CaO.

5. Spektrum atom

- Spektrum emisi: cahaya dipancarkan ketika elektron turun ke tingkat energi lebih rendah → menghasilkan garis khas (contoh: garis kuning natrium).
- Spektrum absorpsi: cahaya diserap untuk menaikkan elektron → menghasilkan garis gelap pada spektrum kontinu. Keduanya membuktikan tingkat energi elektron diskret. Aplikasi: analisis unsur dengan spektroskopi serapan atom (AAS), identifikasi komposisi bintang melalui spektrum emisi, serta penggunaan laser dan jam atom dalam teknologi kuantum.

BAB IV

SISTEM PERIODIK UNSUR

Sistem periodik unsur merupakan salah satu tonggak penting dalam perkembangan ilmu kimia karena menyediakan kerangka konseptual untuk memahami keteraturan sifat-sifat unsur. Penyusunan sistem ini tidak muncul secara tiba-tiba, melainkan melalui proses panjang yang melibatkan observasi, eksperimen, serta pemikiran teoretis dari berbagai ilmuwan.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan perkembangan sistem periodik unsur dari masa Lavoisier hingga sistem modern berbasis nomor atom.
- Menguraikan hukum periodik dan prinsip klasifikasi unsur dalam golongan dan periode.
- Mendeskripsikan tren sifat-sifat periodik unsur, meliputi jari-jari atom, energi ionisasi, afinitas elektron, dan elektronegativitas.
- Menentukan letak suatu unsur dalam tabel periodik berdasarkan konfigurasi elektronnya.
- Menganalisis hubungan posisi unsur dalam tabel periodik dengan sifat kimia dan fisiknya.
- Mengidentifikasi berbagai aplikasi sistem periodik unsur dalam pendidikan, riset, industri, kesehatan, dan teknologi energi.

A. Perkembangan Sistem Periodik Unsur

Sistem periodik unsur berkembang dari upaya ilmuwan abad ke-18 dan 19 untuk mencari keteraturan dalam sifat unsur yang semakin banyak ditemukan. Antoine Lavoisier pertama kali menyusun daftar unsur berdasarkan sifat logam dan non-logam pada akhir abad ke-18, meskipun klasifikasinya masih sederhana. Kemudian, Johann Wolfgang Döbereiner memperkenalkan *triad* pada tahun 1829, yaitu pengelompokan tiga unsur dengan sifat mirip dan massa atom relatif yang beraturan. Upaya ini menjadi dasar awal bahwa unsur memiliki keterkaitan sistematis yang dapat dipelajari secara lebih terstruktur.

Memasuki pertengahan abad ke-19, semakin banyak ilmuwan mencoba menyusun klasifikasi unsur, seperti John Newlands dengan hukum oktaf pada tahun 1864. Newlands menemukan bahwa sifat unsur berulang setiap delapan unsur ketika disusun berdasarkan kenaikan massa atom relatif. Namun, hukum oktaf belum sepenuhnya diterima karena banyak pengecualian. Puncak perkembangan sistem periodik dicapai oleh Dmitri Mendeleev pada tahun 1869. Mendeleev menyusun tabel periodik berdasarkan kenaikan massa atom dan sifat kimia, serta dengan berani meninggalkan ruang kosong bagi unsur yang belum ditemukan. Prediksinya terbukti benar ketika unsur-unsur seperti germanium dan galium ditemukan sesuai perkiraan sifatnya.

Perkembangan sistem periodik tidak berhenti di situ. Henry Moseley pada tahun 1913 menemukan bahwa sifat periodik unsur lebih tepat didasarkan pada nomor atom, bukan massa atom. Penemuan ini mengoreksi kelemahan sistem Mendeleev dan menjadi dasar penyusunan sistem periodik modern. Sejak itu, tabel periodik berkembang menjadi lebih konsisten, dengan penempatan unsur berdasarkan konfigurasi elektron. Hal ini memungkinkan ilmuwan

memahami keteraturan sifat unsur melalui konsep *periodicity* yang terkait erat dengan struktur atom.

Selain itu, perkembangan teknologi modern, seperti spektroskopi dan mekanika kuantum, memperkuat keabsahan sistem periodik. Model atom Bohr dan teori kuantum menjelaskan bahwa pengulangan sifat unsur dipengaruhi oleh pengisian kulit elektron. Konsep nomor kuantum juga membantu menjelaskan mengapa unsur dalam satu golongan memiliki sifat kimia serupa. Dengan demikian, sistem periodik tidak hanya sekadar daftar, melainkan representasi fundamental hubungan antara struktur atom dan sifat kimia.

Dalam praktiknya, sistem periodik unsur menjadi landasan bagi banyak bidang kimia terapan, mulai dari prediksi reaktivitas senyawa hingga perancangan material baru. Misalnya, penemuan unsur transuranium di abad ke-20 tidak akan mungkin tanpa pemahaman mendalam tentang keteraturan dalam sistem periodik. Demikian pula, bidang kimia material modern, seperti pengembangan semikonduktor dan katalis, sangat bergantung pada pemetaan sifat unsur dalam tabel periodik. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan sistem periodik bukan hanya pencapaian historis, tetapi juga fondasi inovasi ilmiah kontemporer.

B. Hukum Periodik dan Klasifikasi Unsur

Hukum periodik menjadi dasar utama dalam memahami keteraturan sifat unsur kimia. Hukum ini pertama kali dirumuskan oleh Dmitri Mendeleev pada 1869, yang menyatakan bahwa sifat unsur merupakan fungsi periodik dari massa atomnya. Meskipun demikian, perkembangan lebih lanjut terutama setelah penemuan nomor atom oleh Henry Moseley pada 1913 menyempurnakan hukum

ini. Versi modern menyatakan bahwa sifat fisika dan kimia unsur adalah fungsi periodik dari nomor atomnya. Artinya, sifat-sifat unsur akan berulang secara teratur ketika disusun berdasarkan kenaikan nomor atom. Prinsip inilah yang mendasari penyusunan tabel periodik yang kita kenal saat ini, di mana posisi unsur dalam tabel mencerminkan konfigurasi elektron serta keteraturan sifat kimianya.

Klasifikasi unsur dalam sistem periodik dilakukan melalui pengelompokan baris horizontal (periode) dan kolom vertikal (golongan). Unsur dalam satu periode menunjukkan perubahan sifat secara bertahap dari logam ke non-logam, sementara unsur dalam satu golongan memiliki sifat serupa karena konfigurasi elektron valensi yang sama. Misalnya, golongan alkali (IA) memiliki satu elektron valensi yang menyebabkan sifat reaktif serupa, sedangkan golongan gas mulia (VIIIA) memiliki konfigurasi stabil sehingga bersifat inert. Prinsip klasifikasi ini membantu para ilmuwan memprediksi perilaku kimia suatu unsur dan senyawanya. Hal ini juga mendukung perkembangan teori ikatan kimia, termodinamika, hingga rekayasa material.

Seiring perkembangan ilmu, sistem klasifikasi unsur mengalami penyempurnaan. Sistem Mendeleev yang awalnya berdasarkan massa atom kini sepenuhnya digantikan oleh klasifikasi berdasarkan nomor atom. Selain itu, terdapat perkembangan lain seperti pengelompokan blok unsur (s, p, d, dan f) berdasarkan subkulit elektron yang ditempati. Pembagian blok ini memberikan pemahaman lebih mendalam tentang sifat elektronik dan kimia. Contohnya, unsur transisi (blok d) terkenal karena membentuk senyawa berwarna dan memiliki berbagai bilangan oksidasi, sedangkan unsur blok f (lantanida dan aktinida) dikenal karena sifat magnetik dan radioaktifnya.

Hukum periodik juga menjelaskan tren sifat-sifat periodik, seperti jari-jari atom, energi ionisasi, keelektronegatifan, dan afinitas elektron. Misalnya, jari-jari atom cenderung menurun dari atas ke bawah dalam satu golongan karena bertambahnya kulit elektron, sementara energi ionisasi meningkat dari kiri ke kanan dalam satu periode seiring meningkatnya muatan inti efektif. Pemahaman tren ini sangat penting dalam memprediksi reaktivitas unsur, stabilitas senyawa, dan sifat material. Riset kontemporer menunjukkan bahwa hukum periodik tetap relevan bahkan dalam kajian modern seperti kimia supramolekul, katalisis heterogen, dan pengembangan material baru berbasis unsur langka (Zhang et al., 2021).

Secara praktis, hukum periodik dan klasifikasi unsur menjadi alat utama dalam pendidikan, riset, dan industri. Di bidang pendidikan, tabel periodik membantu siswa memahami keteraturan sifat kimia. Di bidang riset, hukum ini mendukung penemuan unsur baru dan rekayasa material. Sementara di industri, pemahaman sifat periodik memungkinkan aplikasi dalam desain semikonduktor, katalis industri, dan teknologi energi terbarukan. Oleh karena itu, hukum periodik tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga menjadi dasar bagi perkembangan sains terapan yang berkontribusi pada kemajuan teknologi modern.

C. Golongan dan Periode

Konsep golongan dan periode dalam sistem periodik unsur merupakan kunci untuk memahami keteraturan sifat kimia dan fisika unsur. Golongan adalah kolom vertikal dalam tabel periodik yang menunjukkan unsur-unsur dengan konfigurasi elektron valensi yang sama. Unsur dalam satu golongan memiliki sifat kimia yang mirip, seperti kecenderungan membentuk ion dengan muatan tertentu atau

tingkat reaktivitas yang sebanding. Sebaliknya, periode adalah baris horizontal dalam tabel periodik yang menunjukkan perubahan bertahap sifat unsur ketika nomor atom meningkat. Pola berulang pada golongan dan periode inilah yang menjadi dasar hukum periodik modern, yakni sifat unsur merupakan fungsi periodik dari nomor atomnya.

Dalam klasifikasi golongan, terdapat 18 golongan utama yang terbagi menjadi logam, metaloid, dan non-logam. Golongan IA (alkali) dikenal dengan reaktivitas tinggi karena memiliki satu elektron valensi, sementara golongan IIA (alkali tanah) cenderung lebih stabil tetapi tetap reaktif. Golongan VIIA (halogen) sangat elektronegatif dan mudah bereaksi dengan logam alkali membentuk garam, sedangkan golongan VIIIA (gas mulia) bersifat inert karena konfigurasi elektronnya stabil. Pola ini menunjukkan bahwa pengelompokan unsur berdasarkan golongan bukan sekadar administratif, melainkan refleksi langsung dari struktur atom dan energi elektron valensi.

Periode dalam tabel periodik menunjukkan perubahan sifat unsur dari logam ke non-logam. Misalnya, pada periode kedua, sifat dimulai dari litium (logam alkali) hingga neon (gas mulia). Perubahan ini ditentukan oleh kenaikan nomor atom, yang berarti bertambahnya proton dan elektron dalam atom. Hal ini berimplikasi pada meningkatnya muatan inti efektif, sehingga energi ionisasi meningkat dari kiri ke kanan, jari-jari atom mengecil, dan elektronegativitas naik. Dengan demikian, periode menjelaskan pola horizontal yang melengkapi pemahaman tentang keteraturan vertikal (golongan).

Keterkaitan antara golongan dan periode juga terlihat pada tren sifat periodik. Energi ionisasi cenderung menurun dari atas ke bawah

dalam satu golongan karena bertambahnya kulit elektron, sedangkan dalam satu periode energi ionisasi meningkat akibat bertambahnya muatan inti efektif. Demikian pula, jari-jari atom membesar ke bawah dalam golongan, namun mengecil ke kanan dalam periode. Tren ini menjadi dasar bagi prediksi reaktivitas unsur dalam pembentukan senyawa. Kajian mutakhir dalam kimia material menunjukkan bahwa pemahaman tren golongan dan periode mendukung perancangan katalis heterogen serta pengembangan material berbasis unsur tanah jarang (Liu et al., 2022).

Secara aplikatif, konsep golongan dan periode sangat penting dalam sains modern. Dalam kimia organik, hal ini membantu menjelaskan kecenderungan unsur non-logam seperti karbon, oksigen, dan nitrogen dalam membentuk ikatan kovalen. Dalam kimia anorganik, pemahaman terhadap golongan transisi mendukung pengembangan senyawa koordinasi dan katalis industri. Bahkan dalam teknologi mutakhir seperti semikonduktor dan baterai ion litium, keteraturan periodik unsur berperan penting dalam menentukan sifat konduktivitas, kestabilan, dan efisiensi energi. Dengan demikian, pemahaman mendalam tentang golongan dan periode tidak hanya memperkuat dasar teori kimia, tetapi juga menjadi fondasi bagi inovasi teknologi kontemporer.

D. Sifat-Sifat Periodik Unsur (Jari-jari Atom, Energi Ionisasi, Afinitas Elektron, Elektronegativitas)

Sifat-sifat periodik unsur merupakan pola keteraturan karakteristik fisika dan kimia unsur yang dapat diprediksi berdasarkan posisinya dalam tabel periodik. Empat sifat utama yang paling sering dikaji adalah jari-jari atom, energi ionisasi, afinitas elektron, dan keelektronegatifan. Keteraturan ini muncul akibat konfigurasi elektron

dan pengaruh muatan inti efektif seiring kenaikan nomor atom. Pemahaman sifat periodik sangat penting karena menjadi dasar prediksi reaktivitas unsur, pembentukan senyawa, serta aplikasi praktis dalam kimia material dan teknologi modern.

Jari-jari atom adalah jarak rata-rata antara inti atom dan elektron terluar. Dalam satu golongan, jari-jari atom meningkat dari atas ke bawah karena bertambahnya kulit elektron, meskipun muatan inti juga bertambah. Sebaliknya, dalam satu periode, jari-jari atom cenderung menurun dari kiri ke kanan karena meningkatnya muatan inti efektif yang menarik elektron lebih kuat ke arah inti. Secara matematis, jari-jari atom dapat diperkirakan dengan pendekatan *covalent radius* atau *van der Waals radius*, tergantung konteks ikatan. Tren ini penting, misalnya, untuk memahami perbedaan kekuatan ikatan logam alkali yang semakin lemah ke bawah golongan.

Energi ionisasi adalah energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan satu elektron dari atom netral dalam fase gas. Tren periodiknya menunjukkan bahwa energi ionisasi menurun dari atas ke bawah golongan (karena elektron lebih jauh dari inti) dan meningkat dari kiri ke kanan dalam satu periode (akibat bertambahnya muatan inti efektif). Rumus sederhana untuk energi ionisasi dapat ditulis sebagai:

$$IE = E(X^+) - E(X)$$

di mana $E(X^+)$ adalah energi kation dan $E(X)$ energi atom netral. Energi ionisasi juga berhubungan dengan kestabilan konfigurasi elektron, misalnya

lonjakan besar energi ionisasi terjadi setelah elektron valensi terakhir dilepaskan.

Afinitas elektron merujuk pada perubahan energi ketika sebuah atom netral menerima satu elektron untuk membentuk anion. Secara umum, afinitas elektron menjadi lebih negatif dari kiri ke kanan periode karena kecenderungan atom untuk melengkapi kulit valensi. Namun, pengecualian terdapat pada golongan gas mulia yang memiliki afinitas elektron mendekati nol karena konfigurasi stabil. Rumus yang digunakan:

Elektronegativitas adalah kemampuan relatif atom untuk menarik pasangan elektron dalam ikatan kimia. Skala yang paling terkenal adalah skala Pauling, di mana fluor memiliki nilai tertinggi (3,98). Tren periodik menunjukkan elektronegativitas meningkat dari kiri ke kanan periode dan menurun dari atas ke bawah golongan. Rumus empiris Pauling menghubungkan elektronegativitas dengan energi ikatan:

$$\chi_A - \chi_B = \sqrt{D_{AB} - \frac{(D_{AA} + D_{BB})}{2}}$$

dengan D menyatakan energi ikatan (dalam eV atau kJ/mol). Elektronegativitas penting dalam menjelaskan polaritas ikatan, sifat asam-basa Lewis, hingga stabilitas molekul kompleks.

Untuk memudahkan pemahaman, perbandingan tren sifat periodik dapat diringkas sebagai berikut:

Table 9 Hubungan Struktur Atom dan Sifat Periodik

Sifat	Arah Golongan (atas → bawah)	Arah Periode (kiri → kanan)
Jari-jari atom	Meningkat	Menurun
Energi ionisasi	Menurun	Meningkat
Afinitas elektron	Cenderung menurun (tidak teratur)	Cenderung meningkat
Elektronegativitas	Menurun	Meningkat

Implikasi praktis dari pemahaman sifat-sifat periodik ini sangat luas. Dalam industri semikonduktor, pemilihan unsur berdasarkan elektronegativitas dan jari-jari atom memengaruhi kemampuan konduksi listrik. Dalam kimia material, pengendalian energi ionisasi dan afinitas elektron memungkinkan rekayasa katalis yang lebih efisien. Riset terbaru bahkan menekankan pentingnya tren periodik dalam pengembangan material energi terbarukan, seperti baterai ion litium dan teknologi fotokatalisis berbasis oksida logam (Park et al., 2022). Dengan demikian, kajian sifat-sifat periodik tidak hanya memperkaya wawasan dasar kimia, tetapi juga mendukung inovasi teknologi modern.

E. Penentuan Letak Unsur dalam Periodik

Penentuan letak unsur dalam sistem periodik didasarkan pada keteraturan nomor atom dan konfigurasi elektron yang dimilikinya. Prinsip fundamental yang digunakan adalah hukum periodik modern yang menyatakan bahwa sifat fisika dan kimia unsur merupakan fungsi periodik dari nomor atom. Oleh karena itu, posisi suatu unsur dalam tabel periodik tidak ditentukan oleh massa atom, sebagaimana dalam sistem Mendeleev, tetapi oleh nomor atom yang unik dan tidak

ambigu. Nomor atom juga mencerminkan jumlah proton sekaligus jumlah elektron pada atom netral, yang secara langsung memengaruhi konfigurasi elektron. Dengan cara ini, penempatan unsur dalam tabel menjadi lebih konsisten dan tidak menimbulkan anomali seperti yang terjadi pada sistem awal.

Golongan suatu unsur ditentukan oleh jumlah elektron valensi pada kulit terluar, sementara periode ditentukan oleh jumlah kulit utama yang terisi elektron. Misalnya, natrium (Na) dengan konfigurasi elektron $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ berada pada periode ketiga karena memiliki tiga kulit elektron, dan ditempatkan dalam golongan IA karena hanya memiliki satu elektron valensi. Konsep ini berlaku konsisten pada seluruh unsur, sehingga setiap posisi dalam tabel periodik dapat diprediksi berdasarkan konfigurasi elektron. Pembagian ke dalam blok s, p, d, dan f juga berperan penting, karena menunjukkan subkulit terakhir yang diisi elektron dan menjelaskan sifat khas masing-masing kelompok unsur.

Selain konfigurasi elektron, beberapa parameter fisika juga digunakan untuk memperkuat penentuan letak unsur, seperti energi ionisasi, elektronegativitas, dan jari-jari atom. Unsur dengan pola tren yang serupa dikelompokkan dalam satu golongan karena menunjukkan reaktivitas dan sifat kimia yang sejenis. Contohnya, halogen (F, Cl, Br, I) yang semuanya berada dalam golongan VIIA memiliki kecenderungan kuat untuk menerima satu elektron, sehingga sifat kimianya mirip meskipun berbeda dalam tingkat reaktivitas. Begitu pula, unsur logam transisi dikelompokkan bersama karena kecenderungannya membentuk ion dengan berbagai bilangan oksidasi serta kemampuan berperan sebagai katalis.

Secara historis, penentuan letak unsur menjadi lebih presisi setelah penemuan sinar-X oleh Henry Moseley. Dengan mengukur frekuensi sinar-X karakteristik, Moseley menemukan hubungan linier antara frekuensi tersebut dan nomor atom. Penemuan ini memvalidasi bahwa nomor atom adalah dasar penempatan unsur yang benar, bukan massa atom. Bukti ini menyelesaikan anomali yang membingungkan dalam sistem Mendeleev, misalnya posisi argon dan kalium atau telurium dan iodin. Kini, sistem periodik modern yang diadopsi IUPAC menetapkan 18 golongan yang diberi nomor 1 hingga 18 tanpa perbedaan A dan B, sehingga lebih sederhana dan universal.

Implikasi praktis dari penentuan letak unsur sangat luas. Dalam pendidikan, pemahaman ini membantu siswa memprediksi sifat dan reaktivitas unsur hanya dengan melihat tabel periodik. Dalam penelitian ilmiah, letak unsur digunakan untuk merancang percobaan, memilih material dengan sifat tertentu, atau memprediksi senyawa baru. Bahkan, dalam industri teknologi tinggi seperti pengembangan semikonduktor, baterai litium, dan material superkonduktor, pemilihan unsur selalu mempertimbangkan posisi periodiknya karena hal tersebut mencerminkan perilaku kimia dan fisiknya. Dengan demikian, sistem periodik tidak hanya menjadi alat klasifikasi, tetapi juga peta navigasi fundamental dalam ilmu kimia modern.

F. Aplikasi Sistem Periodik

Sistem periodik unsur bukan sekadar alat klasifikasi, melainkan fondasi praktis dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Dengan memahami posisi unsur dalam tabel periodik, para ilmuwan dapat memprediksi sifat kimia dan fisika, merancang material baru, serta mengembangkan teknologi yang sesuai dengan kebutuhan modern. Keunggulan sistem periodik terletak pada

kemampuannya memberikan keteraturan yang dapat digunakan sebagai pedoman universal, baik di bidang pendidikan, riset, maupun industri.

Dalam bidang pendidikan, tabel periodik menjadi sarana visual yang efektif untuk memahami keteraturan sifat unsur. Melalui sistem ini, siswa dapat dengan mudah mempelajari tren jari-jari atom, energi ionisasi, dan elektronegativitas. Tidak hanya itu, tabel periodik juga berfungsi sebagai alat prediksi untuk mengenal unsur yang belum ditemukan atau dikarakterisasi. Keberhasilan Mendeleev memprediksi keberadaan germanium dan galium menjadi bukti nyata peran tabel ini sebagai pemandu riset kimia. Hingga kini, pendekatan tersebut tetap digunakan dalam penemuan unsur baru, termasuk unsur transuranium pada abad ke-20.

Di bidang riset, aplikasi sistem periodik terlihat jelas dalam pengembangan material. Misalnya, pemahaman mengenai blok d (logam transisi) membantu ilmuwan merancang katalis yang efisien untuk reaksi kimia industri. Unsur platinum, palladium, dan nikel dipilih karena letaknya dalam tabel menunjukkan kecenderungan membentuk kompleks koordinasi yang stabil sekaligus reaktif. Selain itu, penelitian material maju seperti superkonduktor dan semikonduktor sangat bergantung pada tren periodik elektronegativitas dan jari-jari ionik. Contohnya, silikon dan germanium dipilih dalam teknologi elektronik karena sifatnya dapat diprediksi dari posisi periodiknya.

Industri farmasi juga memanfaatkan sistem periodik untuk menemukan obat baru. Unsur-unsur tertentu dari golongan transisi digunakan dalam senyawa koordinasi yang berperan sebagai agen terapi, misalnya cisplatin berbasis platina untuk pengobatan kanker.

Dalam kimia lingkungan, tabel periodik membantu memprediksi toksisitas unsur dan senyawanya, sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan pencemaran logam berat seperti merkuri atau timbal. Dengan demikian, sistem periodik tidak hanya berfungsi untuk memetakan pengetahuan, tetapi juga mendukung aplikasi nyata dalam menjaga kesehatan manusia dan lingkungan.

Pada level teknologi mutakhir, sistem periodik menjadi acuan dalam pengembangan energi terbarukan. Misalnya, litium dari golongan alkali digunakan pada baterai litium-ion karena memiliki energi ionisasi rendah yang membuatnya mudah melepaskan elektron. Unsur tanah jarang (rare earth elements) dari blok f digunakan pada magnet permanen untuk turbin angin dan motor listrik. Bahkan, hidrogen, unsur paling sederhana dalam tabel, kini menjadi pusat perhatian sebagai bahan bakar ramah lingkungan melalui teknologi *fuel cell*. Semua aplikasi ini berakar pada pemahaman sifat-sifat periodik unsur.

Dengan berbagai penerapannya, sistem periodik dapat dipandang sebagai “peta jalan” ilmu kimia dan teknologi. Tidak hanya menjadi alat teoritis, tabel ini juga berfungsi sebagai instrumen aplikatif yang menghubungkan pengetahuan dasar dengan inovasi praktis. Dari ruang kelas hingga laboratorium penelitian, dari industri farmasi hingga teknologi energi, sistem periodik telah membuktikan dirinya sebagai salah satu penemuan paling berpengaruh dalam sejarah sains. Ke depan, keberadaannya tetap menjadi kunci dalam menjawab tantangan global, termasuk krisis energi, kesehatan, dan lingkungan.

G. Rangkuman

Sistem periodik unsur merupakan tonggak utama dalam perkembangan kimia modern karena memberikan keteraturan sifat-sifat unsur berdasarkan nomor atom. Perkembangan sistem ini diawali dari upaya Lavoisier, Döbereiner, hingga puncaknya oleh Mendeleev yang menyusun tabel periodik berdasarkan massa atom dan sifat kimia. Penyempurnaan terjadi setelah Moseley menemukan nomor atom sebagai dasar yang lebih akurat, sehingga terbentuklah hukum periodik modern yang menyatakan bahwa sifat fisika dan kimia unsur adalah fungsi periodik dari nomor atom.

Klasifikasi unsur dilakukan melalui **golongan** dan **periode**, yang mencerminkan keteraturan vertikal dan horizontal. Golongan ditentukan oleh jumlah elektron valensi yang menghasilkan kesamaan sifat, sementara periode menunjukkan perubahan bertahap sifat unsur akibat peningkatan muatan inti efektif. Tren sifat periodik—seperti jari-jari atom, energi ionisasi, afinitas elektron, dan elektronegativitas—memberikan pemahaman mendalam tentang reaktivitas dan kestabilan unsur.

Penentuan letak unsur dalam tabel periodik mengandalkan konfigurasi elektron serta nomor atom, yang diperkuat dengan parameter fisika dan kimia. Hal ini menjadikan tabel periodik sebagai peta universal untuk memprediksi sifat unsur, memahami keteraturan kimia, serta menemukan unsur baru.

Dalam aplikasinya, sistem periodik tidak hanya berfungsi sebagai alat pendidikan, tetapi juga mendukung riset dan industri. Pemahaman tentang blok unsur dan sifat periodiknya membantu pengembangan

material baru, katalis industri, obat-obatan berbasis logam transisi, hingga teknologi energi terbarukan seperti baterai litium dan *fuel cell*.

Dengan demikian, sistem periodik unsur adalah representasi keteraturan alam yang tidak hanya memiliki nilai historis, tetapi juga menjadi fondasi teoritis sekaligus instrumen aplikatif dalam menjawab tantangan sains, teknologi, kesehatan, dan lingkungan modern.

H. Latihan

Soal

1. Jelaskan perkembangan sistem periodik unsur dari Lavoisier hingga Mendeleev, serta perbaikan yang dilakukan oleh Moseley. Mengapa penemuan nomor atom menjadi titik balik penting dalam sejarah tabel periodik?
2. Apa perbedaan utama antara golongan dan periode dalam tabel periodik? Berikan contoh unsur dari golongan dan periode yang berbeda untuk menjelaskan kesamaan dan perbedaan sifatnya.
3. Uraikan tren sifat periodik berikut: jari-jari atom, energi ionisasi, afinitas elektron, dan elektronegativitas. Sertakan alasan teoritis yang menjelaskan pola perubahan sifat tersebut.
4. Bagaimana konfigurasi elektron menentukan letak suatu unsur dalam tabel periodik? Berikan contoh penentuan golongan dan periode dari unsur natrium (Na) dan klorin (Cl).
5. Diskusikan tiga aplikasi nyata sistem periodik unsur dalam bidang industri, farmasi, dan teknologi energi. Jelaskan

keterkaitan antara posisi unsur dalam tabel periodik dengan pemanfaatannya.

Jawaban

1. Perkembangan sistem periodik dimulai dari Lavoisier yang mengklasifikasikan logam dan non-logam, kemudian Döbereiner dengan triad, serta Newlands dengan hukum oktaf. Mendeleev menyusun tabel periodik berdasarkan massa atom dan sifat kimia, meninggalkan ruang untuk unsur yang belum ditemukan. Moseley kemudian menyempurnakan dengan nomor atom sebagai dasar, yang menjadi titik balik hukum periodik modern.
2. Golongan adalah kolom vertikal dengan jumlah elektron valensi sama, sehingga sifat kimia mirip (contoh: Na, K, Li). Periode adalah baris horizontal dengan jumlah kulit elektron sama, menunjukkan perubahan sifat bertahap dari kiri ke kanan.
3. Jari-jari atom meningkat dari atas ke bawah golongan dan menurun dari kiri ke kanan periode. Energi ionisasi menurun ke bawah golongan dan meningkat ke kanan periode. Afinitas elektron cenderung meningkat ke kanan periode dan menurun ke bawah golongan. Elektronegativitas menurun dari atas ke bawah dan meningkat dari kiri ke kanan.
4. Natrium (Na, $Z=11$) memiliki konfigurasi $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$, berada pada periode 3 dan golongan IA. Klorin (Cl, $Z=17$) dengan konfigurasi

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$, berada pada periode 3 dan golongan VIIA.

5. Dalam industri, logam transisi (Pt, Pd, Ni) digunakan sebagai katalis. Dalam farmasi, senyawa cisplatin berbasis Pt dimanfaatkan untuk terapi kanker. Dalam teknologi energi, litium (IA) dipakai pada baterai litium-ion dan unsur tanah jarang (blok f) digunakan dalam magnet permanen untuk turbin angin.

BAB V

IKATAN KIMIA

Ikatan kimia merupakan dasar dari terbentuknya berbagai senyawa yang menyusun materi di alam. Pemahaman tentang bagaimana atom saling berikatan sangat penting karena menentukan sifat fisik, kimia, dan stabilitas suatu zat. Bab ini akan membahas berbagai jenis ikatan kimia, dimulai dari ikatan ionik dan kovalen yang menjadi pondasi utama dalam ilmu kimia, hingga interaksi yang lebih kompleks seperti ikatan logam dan gaya antarmolekul.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan konsep dasar ikatan kimia dan perannya dalam pembentukan senyawa.
- Membedakan karakteristik ikatan ionik, kovalen, dan logam serta hubungannya dengan sifat fisik dan kimia zat.
- Menguraikan jenis-jenis gaya antarmolekul dan pengaruhnya terhadap sifat zat seperti titik didih, kelarutan, dan viskositas.
- Memahami teori ikatan valensi serta konsep hibridisasi untuk menjelaskan bentuk molekul.
- Menerapkan Teori VSEPR dalam memprediksi bentuk geometri molekul sederhana dan kompleks.
- Mengaitkan pendekatan penganggaran dengan prinsip efisiensi, efektivitas, dan keadilan sosial.

A. Ikatan Ionik dan Kovalen

Ikatan ionik dan kovalen merupakan dua tipe utama ikatan kimia yang menjelaskan bagaimana atom berinteraksi untuk mencapai kestabilan. Ikatan ionik terbentuk melalui transfer elektron antara atom logam dan non-logam sehingga menghasilkan kation dan anion yang saling tarik-menarik. Sebaliknya, ikatan kovalen terjadi ketika dua atom non-logam berbagi pasangan elektron untuk mencapai konfigurasi elektron stabil. Pemahaman kedua konsep ini penting karena sifat senyawa ionik dan kovalen sangat berbeda, baik dalam titik leleh, kelarutan, maupun konduktivitas listrik (Atkins & de Paula, 2022).

Kajian modern menekankan bahwa ikatan ionik tidak selalu berupa transfer elektron sempurna, melainkan melibatkan tingkat polaritas yang dipengaruhi perbedaan keelektronegatifan antar atom. Senyawa dengan perbedaan elektronegativitas tinggi cenderung bersifat ionik, sedangkan perbedaan rendah menghasilkan ikatan kovalen non-polar. Namun, sebagian besar senyawa berada di antara kedua ekstrem ini, disebut ikatan kovalen polar, seperti HCl atau H₂O, yang memiliki distribusi muatan tidak merata (Huheey et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa ikatan kimia adalah spektrum, bukan dikotomi mutlak.

Sifat fisik senyawa ionik dan kovalen juga berbeda nyata. Senyawa ionik biasanya berbentuk padatan kristalin dengan titik leleh dan titik didih tinggi, serta larut dalam air dan menghantarkan listrik dalam bentuk cair atau larutan. Sebaliknya, senyawa kovalen cenderung berupa cairan atau gas pada suhu kamar, memiliki titik leleh lebih rendah, dan bersifat isolator listrik. Penelitian terkini menekankan pentingnya struktur ikatan dalam menentukan sifat

material modern, seperti polimer kovalen, keramik ionik, dan material hibrida (Zhang et al., 2023).

Dalam pendidikan kimia, perbandingan antara ikatan ionik dan kovalen sering disajikan dalam bentuk tabel agar lebih mudah dipahami.

Table 10 Perbedaan Ikatan Ionik dan Kovalen

Aspek	Ikatan Ionik	Ikatan Kovalen
Mekanisme	Transfer elektron	Berbagi elektron
Jenis Atom	Logam + Non-logam	Non-logam + Non-logam
Struktur	Kristal padat	Molekul diskrit
Titik leleh/didih	Tinggi	Rendah–sedang
Konduktivitas listrik	Menghantar (larutan/cairan)	Umumnya isolator

Di sisi lain, pemahaman ikatan ini telah diaplikasikan dalam berbagai bidang. Dalam biokimia, ikatan kovalen berperan penting dalam menjaga stabilitas molekul DNA, sedangkan ikatan ionik berperan dalam interaksi protein dengan ion logam. Dalam industri, sifat kuat ikatan ionik digunakan dalam keramik tahan panas, sementara fleksibilitas ikatan kovalen dimanfaatkan dalam pembuatan plastik dan obat-obatan. Temuan terbaru menunjukkan bahwa modifikasi ikatan kovalen melalui *covalent organic frameworks* (COFs) membuka peluang besar bagi pengembangan katalis ramah lingkungan dan teknologi penyimpanan energi (Li et al., 2021).

Dengan demikian, pembahasan ikatan ionik dan kovalen bukan hanya memberikan pemahaman dasar kimia, melainkan juga

membuka wawasan aplikatif dalam sains dan teknologi modern. Dari perspektif akademis, ikatan ini adalah pintu masuk untuk memahami sifat materi, sedangkan dari sisi praktis, penerapannya mendukung inovasi material dan solusi teknologi berkelanjutan.

B. Ikatan Logam

Ikatan logam merupakan jenis ikatan kimia yang menjelaskan keterikatan antar atom logam dalam struktur kristal. Berbeda dengan ikatan ionik yang melibatkan transfer elektron dan ikatan kovalen yang berbasis berbagi elektron antar atom tertentu, ikatan logam ditandai oleh adanya “lautan elektron” bebas yang mengelilingi inti atom logam. Elektron valensi dalam ikatan logam terdelokalisasi sehingga dapat bergerak bebas di seluruh kisi logam, menghasilkan sifat konduktivitas listrik dan panas yang tinggi. Model ini dikenal dengan *electron sea model* yang masih digunakan untuk menjelaskan fenomena dasar meskipun kini diperkaya dengan pendekatan teori pita energi (*band theory*) (Ashcroft & Mermin, 2022).

Konsep ikatan logam telah berkembang dengan integrasi teori kuantum, khususnya melalui pendekatan *molecular orbital* yang diperluas menjadi *band theory*. Menurut teori pita, atom logam dalam jumlah besar membentuk tumpang tindih orbital sehingga menghasilkan pita energi terisi (*valence band*) dan pita energi kosong (*conduction band*). Keterhubungan kedua pita energi ini menjelaskan perbedaan sifat konduktivitas antara logam, semikonduktor, dan isolator. Logam murni memiliki pita valensi dan pita konduksi yang saling bertumpang tindih, sehingga elektron mudah berpindah dan menghasilkan sifat konduktif. Penelitian terkini menekankan bahwa pemahaman ikatan logam melalui teori pita energi sangat penting

dalam rekayasa material elektronik, nanoteknologi, dan superkonduktor (Zhou et al., 2021).

Sifat khas logam seperti daya hantar listrik, kelenturan (*malleability*), dan ketegaran (*ductility*) juga berhubungan erat dengan model lautan elektron. Ketiadaan ikatan kaku antar atom membuat lapisan logam dapat bergeser tanpa merusak struktur keseluruhan, berbeda dengan kristal ionik yang mudah pecah. Hal ini menjelaskan mengapa logam dapat ditempa menjadi lembaran tipis atau ditarik menjadi kawat tanpa patah. Selain itu, ikatan logam bersifat non-spesifik, artinya setiap atom logam dalam kisi berkontribusi dan berbagi elektron secara kolektif. Model ini juga mendukung terbentuknya *alloy* (paduan logam), di mana atom berbeda dapat bergabung dalam kisi dan memperkuat sifat material (Callister & Rethwisch, 2020).

Untuk mempermudah perbandingan, berikut tabel yang menunjukkan perbedaan mendasar antara ikatan logam dengan ionik dan kovalen:

Table 11 Perbandingan Ikatan Logam, Ionik, dan Kovalen

Aspek	Ikatan Logam	Ikatan Ionik	Ikatan Kovalen
Mekanisme	Lautan elektron terdelokalisasi	Transfer elektron	Berbagi pasangan elektron
Jenis Atom	Logam dengan logam	Logam + Non-logam	Non-logam dengan Non-logam
Konduktivitas listrik	Sangat tinggi	Tinggi (larutan/cairan)	Umumnya rendah

Aspek	Ikatan Logam	Ikatan Ionik	Ikatan Kovalen
Kelenturan	Tinggi (malleable & ductile)	Rapuh	Bervariasi
Contoh	Fe, Cu, Al, Na	NaCl, MgO	H ₂ O, CH ₄

Dalam praktik modern, pemahaman ikatan logam sangat penting bagi pengembangan material baru. Misalnya, paduan berbasis aluminium banyak digunakan pada industri pesawat karena sifat ringan dan kuat, sedangkan baja karbon digunakan dalam konstruksi karena ketangguhan ikatannya. Riset terbaru juga menyoroti fenomena *metallic glass*, yaitu material logam amorf yang memiliki sifat mekanik unik dan prospektif untuk aplikasi teknologi tinggi (Liu et al., 2022). Dengan demikian, studi tentang ikatan logam tidak hanya relevan untuk teori dasar kimia, tetapi juga menjadi landasan dalam rekayasa material, energi, dan teknologi berkelanjutan.

Implikasi praktis dari pemahaman ikatan logam dapat terlihat pada transformasi energi. Misalnya, pada baterai lithium-ion, sifat ikatan logam lithium yang ringan dan reaktif dimanfaatkan untuk penyimpanan energi. Selain itu, pengembangan sel bahan bakar hidrogen dan superkonduktor suhu tinggi juga mengandalkan kajian mendalam tentang sifat ikatan logam dan dinamika elektron bebas. Oleh sebab itu, mempelajari ikatan logam berarti memahami inti dari banyak inovasi teknologi modern.

C. Gaya Antar Molekul

Gaya antarmolekul merupakan interaksi yang terjadi antar molekul dan memiliki peran penting dalam menentukan sifat fisik suatu zat, seperti titik didih, titik leleh, viskositas, kelarutan, hingga tegangan permukaan. Walaupun lebih lemah dibandingkan dengan ikatan intramolekul (ionik, kovalen, logam), gaya antarmolekul sangat menentukan perilaku zat dalam fase cair dan padat. Secara umum, gaya ini meliputi gaya dipol-dipol, ikatan hidrogen, gaya dispersi London (van der Waals), serta interaksi ion-dipol. Kajian modern menekankan bahwa pemahaman mendalam terhadap gaya antarmolekul sangat penting dalam kimia material, biokimia, dan rekayasa farmasi (Atkins & de Paula, 2022).

Salah satu bentuk gaya antarmolekul yang kuat adalah ikatan hidrogen, yang terjadi ketika atom hidrogen yang terikat kovalen dengan atom elektronegatif (seperti O, N, atau F) berinteraksi dengan pasangan elektron bebas pada atom elektronegatif lain. Ikatan hidrogen menjadi kunci utama dalam stabilitas struktur biomolekul, seperti heliks ganda DNA dan struktur sekunder protein. Studi terkini menunjukkan bahwa gangguan kecil pada pola ikatan hidrogen dapat memicu perubahan besar pada fungsi biologis, misalnya dalam mekanisme mutasi genetik atau denaturasi protein (Zhang et al., 2021). Hal ini memperlihatkan bahwa gaya antarmolekul bukan sekadar interaksi lemah, tetapi dapat menentukan kehidupan pada tingkat molekuler.

Gaya van der Waals, khususnya gaya dispersi London, merupakan interaksi yang muncul dari fluktuasi distribusi elektron yang menciptakan dipol sesaat. Meskipun lemah, gaya ini bekerja universal pada semua molekul, baik polar maupun non-polar. Semakin

besar jumlah elektron dan luas permukaan molekul, semakin kuat pula gaya dispersi yang terbentuk. Misalnya, halogen dari F₂ hingga I₂ menunjukkan peningkatan titik didih seiring bertambahnya massa atom akibat semakin kuatnya gaya dispersi. Temuan baru dalam bidang nanomaterial memperlihatkan bahwa kontrol terhadap gaya dispersi dapat digunakan untuk merancang sifat adhesi dan pelapisan permukaan material (Li et al., 2022).

Untuk memberikan gambaran sistematis, berikut tabel perbandingan jenis gaya antarmolekul dan pengaruhnya:

Table 12 Jenis Gaya Antarmolekul dan Karakteristiknya

Jenis Gaya	Mekanisme Interaksi	Contoh Molekul	Dampak Fisik
Dipol-dipol	Interaksi antar molekul polar	HCl, SO ₂	Titik didih lebih tinggi
Ikatan hidrogen	H berikatan dengan O/N/F berinteraksi dengan pasangan elektron bebas	H ₂ O, NH ₃ , HF	Viskositas tinggi, anomali air
Dispersi London	Dipol sesaat akibat fluktuasi elektron	I ₂ , CH ₄	Titik leleh/didih naik seiring massa molekul
Ion-dipol	Ion berinteraksi dengan molekul polar	Na ⁺ & H ₂ O	Penting dalam kelarutan garam

Implikasi gaya antarmolekul dalam kehidupan sehari-hari sangat luas. Air, misalnya, menunjukkan sifat anomali dengan titik didih yang tinggi dibandingkan molekul sejenis akibat adanya ikatan hidrogen. Hal ini memungkinkan air tetap berada dalam fase cair pada rentang suhu yang mendukung kehidupan. Dalam industri farmasi,

desain obat-obatan juga mempertimbangkan interaksi antarmolekul antara senyawa obat dan reseptor biologis. Penelitian terbaru menegaskan bahwa interaksi non-kovalen, termasuk gaya van der Waals dan ikatan hidrogen, sangat menentukan afinitas dan efektivitas farmakologi (Wang et al., 2023).

Selain itu, pemahaman gaya antarmolekul juga diterapkan dalam rekayasa material modern. Misalnya, dalam pengembangan polimer cerdas dan gel hidrofilik, pengaturan gaya ikatan hidrogen internal dapat mengontrol respons mekanik dan sifat penyerapannya. Di bidang energi, interaksi ion-dipol berperan penting dalam sistem elektrolit cair pada baterai litium-ion. Dengan demikian, gaya antarmolekul bukan hanya konsep teoritis, tetapi juga kunci dalam inovasi sains terapan.

D. Teori Ikatan Valensi dan Hibridisasi

Teori Ikatan Valensi (*Valence Bond Theory*) merupakan salah satu kerangka klasik yang digunakan untuk menjelaskan terbentuknya ikatan kovalen berdasarkan interaksi orbital atom. Menurut teori ini, ikatan terjadi ketika dua orbital atom yang masing-masing berisi satu elektron saling tumpang tindih, membentuk pasangan elektron bersama. Konsep ini pertama kali dikembangkan oleh Heitler dan London pada 1927, lalu diperkaya oleh Linus Pauling melalui pengenalan konsep hibridisasi. Walaupun relatif sederhana dibandingkan *Molecular Orbital Theory*, teori ikatan valensi tetap digunakan untuk menjelaskan bentuk molekul dan sifat ikatan karena memberikan gambaran intuitif yang mudah dipahami (Pauling, 2020).

Hibridisasi dalam teori ikatan valensi merupakan proses pencampuran orbital atom dengan energi yang hampir sama untuk

menghasilkan orbital hibrida baru yang ekuivalen. Misalnya, pada metana (CH₄), orbital 2s dan tiga orbital 2p dari karbon bercampur membentuk empat orbital hibrida sp³ dengan bentuk tetrahedral. Hal ini menjelaskan mengapa CH₄ memiliki sudut ikatan 109,5° yang tidak dapat diterangkan dengan orbital s dan p murni. Bentuk hibridisasi lain seperti sp² (trigonal planar, 120°) dan sp (linier, 180°) juga menjadi dasar bagi struktur molekul organik, termasuk alkena dan alkuna. Model ini menegaskan bahwa bentuk molekul sangat ditentukan oleh kombinasi orbital atom (Atkins & de Paula, 2022).

Secara matematis, orbital hibrida dapat digambarkan sebagai kombinasi linier orbital atom:

$$\psi_{hibrid} = a \cdot \psi_s + b \cdot \psi_p$$

di mana aaa dan bbb adalah koefisien normalisasi yang menunjukkan kontribusi masing-masing orbital atomik. Persamaan ini menjadi dasar analisis bentuk molekul dalam teori ikatan valensi. Riset terbaru dalam kimia kuantum bahkan menggunakan simulasi *density functional theory* (DFT) untuk memprediksi distribusi elektron pada orbital hibrida dengan akurasi tinggi (Sun et al., 2021).

Untuk memperjelas konsep, berikut tabel ringkas jenis hibridisasi, bentuk geometri, dan contohnya:

Table 13 Jenis Hibridisasi dan Contoh Molekul

Jenis Hibridisasi	Jumlah Orbital Tercampur	Geometri Molekul	Contoh Molekul
sp	1 orbital s + 1 orbital p	Linear (180°)	BeCl ₂ , C ₂ H ₂

Jenis Hibridisasi	Jumlah Orbital Tercampur	Geometri Molekul	Contoh Molekul
sp^2	1 orbital s + 2 orbital p	Trigonal planar (120°)	BF_3 , C_2H_4
sp^3	1 orbital s + 3 orbital p	Tetrahedral ($109,5^\circ$)	CH_4 , NH_3 , H_2O
sp^3d	1 s + 3 p + 1 d	Trigonal bipiramida	PCl_5
sp^3d^2	1 s + 3 p + 2 d	Oktahedral	SF_6

Hibridisasi juga menjelaskan fenomena ikatan sigma (σ) dan pi (π). Ikatan sigma terbentuk dari tumpang tindih langsung antar orbital, sedangkan ikatan pi berasal dari tumpang tindih samping orbital p yang tidak terhibridisasi. Misalnya, pada etena (C_2H_4), karbon mengalami hibridisasi sp^2 , menghasilkan tiga ikatan sigma (dua dengan H, satu dengan C), sedangkan ikatan ganda $C=C$ terdiri dari satu sigma dan satu pi. Pemahaman ini krusial dalam kimia organik karena ikatan pi lebih lemah dan reaktif, sehingga menentukan sifat adisi pada senyawa tak jenuh (Zhao et al., 2022).

Implikasi praktis teori ikatan valensi dan hibridisasi terlihat dalam berbagai bidang. Dalam biokimia, geometri molekul yang dihasilkan oleh hibridisasi menentukan interaksi enzim-substrat dan mekanisme reaksi metabolik. Di bidang material, pemahaman tentang orbital hibrida membantu merancang *catalyst* berbasis karbon seperti *graphene* dan *carbon nanotubes*. Riset terbaru menegaskan bahwa manipulasi hibridisasi orbital dalam material 2D dapat mengoptimalkan sifat elektronik dan mekanik untuk aplikasi energi terbarukan (Liu et al., 2023). Dengan demikian, teori ikatan valensi

tidak hanya bernilai historis, tetapi juga relevan dalam riset kimia modern.

E. Bentuk Molekul dan Teori VSEPR

Teori VSEPR (*Valence Shell Electron Pair Repulsion*) merupakan pendekatan sederhana namun sangat penting untuk memprediksi bentuk molekul berdasarkan tolak-menolak pasangan elektron di sekitar atom pusat. Teori ini menyatakan bahwa pasangan elektron, baik yang membentuk ikatan maupun pasangan bebas (*lone pair*), akan mengatur diri sejauh mungkin untuk meminimalkan gaya tolak-menolak. Dengan demikian, bentuk geometri molekul dapat diprediksi hanya dengan mengetahui jumlah pasangan elektron valensi pada atom pusat. Meskipun sederhana, teori VSEPR tetap menjadi fondasi dalam pengajaran kimia struktural karena kemampuannya menjelaskan bentuk molekul dengan cepat dan intuitif (Atkins & de Paula, 2022).

Penerapan VSEPR berfokus pada konsep *domain elektron*, yang meliputi ikatan tunggal, ikatan ganda, ikatan rangkap tiga, serta pasangan bebas. Setiap domain dianggap memiliki “hak” yang sama dalam ruang tiga dimensi. Misalnya, molekul metana (CH_4) dengan empat ikatan sigma tunggal menghasilkan bentuk tetrahedral dengan sudut $109,5^\circ$. Sementara itu, molekul amonia (NH_3) dengan tiga ikatan dan satu pasangan bebas membentuk piramida trigonal, sedangkan air (H_2O) dengan dua ikatan dan dua pasangan bebas menghasilkan bentuk bengkok (*bent*) dengan sudut sekitar $104,5^\circ$. Contoh ini memperlihatkan bagaimana pasangan bebas memiliki pengaruh lebih besar dalam menekan sudut ikatan dibandingkan pasangan ikatan biasa (Huheey et al., 2021).

Perbedaan bentuk molekul menurut VSEPR juga dapat dilihat pada senyawa dengan lebih dari empat domain elektron. Misalnya, PCl_5 dengan lima pasangan elektron ikatan membentuk geometri trigonal bipiramida, sementara SF_6 dengan enam ikatan menghasilkan bentuk oktahedral. Namun, ketika ada pasangan bebas, geometri ideal ini akan terdistorsi. Sebagai contoh, XeF_4 memiliki empat ikatan dan dua pasangan bebas, sehingga menghasilkan bentuk persegi planar, bukan oktahedral sempurna. Kajian eksperimental menggunakan spektroskopi inframerah dan difraksi sinar-X mendukung prediksi ini, sehingga memperkuat validitas VSEPR (Zhao et al., 2022).

Untuk memperjelas, berikut tabel umum prediksi bentuk molekul menurut teori VSEPR:

Table 14 Prediksi Bentuk Molekul dengan Teori VSEPR

Jumlah Domain Elektron	Notasi AXE*	Bentuk Molekul	Sudut Ikatan	Contoh Molekul
2	AX ₂	Linear	180°	BeCl_2 , CO_2
3	AX ₃	Trigonal planar	120°	BF_3
3 (1 lone pair)	AX ₂ E	Bengkok (bent)	<120°	SO_2
4	AX ₄	Tetrahedral	109,5°	CH_4
4 (1 lone pair)	AX ₃ E	Piramida trigonal	~107°	NH_3
4 (2 lone pair)	AX ₂ E ₂	Bengkok (bent)	~104,5°	H_2O
5	AX ₅	Trigonal bipiramida	90°/120°	PCl_5
6	AX ₆	Oktahedral	90°	SF_6

Dalam perkembangan terbaru, teori VSEPR juga dipadukan dengan hasil komputasi kuantum seperti *density functional theory* (DFT) untuk memprediksi bentuk molekul kompleks. Hal ini penting karena VSEPR memiliki keterbatasan dalam menjelaskan molekul dengan ikatan logam transisi atau interaksi orbital d. Penelitian modern menunjukkan bahwa prediksi struktur molekul menggunakan VSEPR yang dikombinasikan dengan kalkulasi komputasi memberikan akurasi lebih baik, terutama pada senyawa organologam dan kompleks koordinasi (Sun et al., 2021).

Implikasi praktis teori VSEPR dapat ditemukan pada berbagai bidang. Dalam kimia lingkungan, bentuk molekul NO₂ yang bengkok mempengaruhi sifat polutifnya terhadap atmosfer. Dalam farmasi, prediksi bentuk molekul penting untuk memahami interaksi obat dengan reseptor biologis, karena geometri menentukan kecocokan (*molecular docking*). Selain itu, rekayasa material molekuler juga memanfaatkan teori ini untuk merancang molekul dengan sifat spesifik, misalnya molekul berbentuk planar dalam material semikonduktor organik. Dengan demikian, teori VSEPR tidak hanya menjadi alat konseptual dalam kelas kimia, tetapi juga berperan dalam inovasi ilmiah kontemporer.

F. Hubungan Ikatan dengan Sifat Zat

Jenis ikatan kimia yang dimiliki suatu senyawa memiliki pengaruh besar terhadap sifat fisik maupun kimia zat tersebut. Ikatan ionik, kovalen, logam, maupun gaya antarmolekul memberikan karakteristik khas pada titik leleh, titik didih, kelarutan, kekerasan, hingga konduktivitas listrik dan panas. Pemahaman hubungan ini tidak hanya penting untuk penjelasan fenomena dasar kimia, tetapi

juga menjadi landasan dalam desain material baru, rekayasa farmasi, serta pengembangan teknologi ramah lingkungan. Penekanan ini membuat hubungan antara struktur ikatan dan sifat zat menjadi inti dari studi kimia modern (Atkins & de Paula, 2022).

Senyawa ionik, seperti NaCl atau MgO, umumnya berbentuk padatan kristalin yang keras dan rapuh, dengan titik leleh serta titik didih tinggi. Hal ini terjadi karena ion positif dan negatif terikat kuat melalui gaya elektrostatik dalam kisi kristal. Sebaliknya, senyawa kovalen sederhana seperti CH₄ atau CO₂ memiliki titik leleh dan titik didih rendah karena hanya dipertahankan oleh gaya antarmolekul yang lemah. Namun, senyawa kovalen jaringan (*network covalent*) seperti berlian dan silikon menunjukkan sifat ekstrem: sangat keras, titik leleh tinggi, dan isolator listrik. Perbedaan ini menegaskan bahwa tidak hanya jenis ikatan, tetapi juga pola ikatan dalam struktur kristal sangat memengaruhi sifat zat (Huheey et al., 2021).

Ikatan logam menunjukkan hubungan erat dengan sifat khas logam seperti kelenturan (*malleability*), ketegaran (*ductility*), serta konduktivitas tinggi. Dalam model lautan elektron, elektron valensi bergerak bebas di dalam kisi logam sehingga mampu menghantarkan listrik dan panas dengan efisien. Sifat ini menjadikan logam seperti tembaga, aluminium, dan perak ideal sebagai konduktor. Selain itu, keberadaan paduan logam memperlihatkan bagaimana modifikasi ikatan dapat menghasilkan sifat baru. Contohnya, baja karbon yang lebih kuat daripada besi murni, atau superkonduktor modern yang memanfaatkan dinamika ikatan logam untuk aplikasi energi berkelanjutan (Zhou et al., 2021).

Peran gaya antarmolekul juga tidak dapat diabaikan. Molekul dengan ikatan kovalen polar seperti H₂O memiliki ikatan hidrogen

yang kuat, sehingga air memiliki titik didih jauh lebih tinggi dibandingkan senyawa sejenisnya. Sifat ini vital bagi kehidupan karena memungkinkan air tetap cair dalam rentang suhu luas. Sebaliknya, gas mulia atau molekul non-polar seperti CH₄ hanya bergantung pada gaya dispersi London sehingga mudah menguap. Penelitian terkini menunjukkan bahwa manipulasi gaya antarmolekul dapat digunakan dalam rekayasa material berpori, polimer cerdas, hingga sistem penghantaran obat (*drug delivery systems*) (Wang et al., 2023).

Untuk memperjelas hubungan jenis ikatan dengan sifat zat, berikut tabel perbandingan ringkas:

Table 15 Hubungan Jenis Ikatan dengan Sifat Zat

Jenis Ikatan	Contoh Zat	Titik Leleh/Didih	Konduktivitas	Kekerasan/Keuletan	Kelarutan
Ionik	NaCl, MgO	Sangat tinggi	Menghantar (larutan/cair)	Keras, rapuh	Larut dalam air
Kovalen sederhana	CH ₄ , CO ₂	Rendah	Isolator	Lunak/gas	Bervariasi
Kovalen jaringan	Berlian, SiO ₂	Sangat tinggi	Isolator	Sangat keras	Tidak larut
Logam	Fe, Cu, Al	Sedang–tinggi	Menghantar baik	Ulet, dapat ditempa	Tidak larut
Molekul polar (hidrogen)	H ₂ O, NH ₃	Sedang–tinggi	Isolator	Cairan dengan viskositas tinggi	Larut dalam air

Implikasi praktis pemahaman hubungan ini sangat luas. Dalam industri farmasi, kestabilan obat dipengaruhi oleh jenis ikatan dan gaya antarmolekul yang menentukan kelarutan dan bioavailabilitasnya. Dalam energi terbarukan, pemilihan material baterai litium-ion juga didasarkan pada sifat ikatan logam dan ionik. Bahkan dalam kehidupan sehari-hari, fenomena seperti garam yang larut dalam air, plastik yang fleksibel, atau kaca yang keras semuanya dapat dijelaskan melalui teori ikatan. Oleh karena itu, memahami hubungan antara ikatan dan sifat zat tidak hanya memperkuat dasar teoretis kimia, tetapi juga membuka jalan bagi inovasi teknologi masa depan.

G. Rangkuman

Bab ini membahas secara komprehensif mengenai ikatan kimia sebagai dasar terbentuknya senyawa dan sifat zat. Ikatan ionik, kovalen, dan logam dijelaskan sebagai bentuk utama ikatan intramolekul yang memengaruhi karakteristik fisik dan kimia, sementara gaya antarmolekul berperan dalam menentukan fenomena seperti titik didih, kelarutan, dan viskositas. Ikatan ionik terbentuk dari transfer elektron antara logam dan non-logam, menghasilkan senyawa kristalin yang keras, titik leleh tinggi, serta mampu menghantarkan listrik dalam bentuk larutan. Sebaliknya, ikatan kovalen terbentuk melalui pemakaian bersama elektron antar non-logam, dengan sifat bervariasi dari molekul sederhana seperti CH_4 hingga kovalen jaringan yang sangat kuat seperti berlian. Ikatan logam ditandai oleh lautan elektron terdelokalisasi yang menjelaskan sifat konduktivitas, kelenturan, dan kemampuan membentuk paduan.

Selanjutnya, gaya antarmolekul meliputi interaksi dipol-dipol, ikatan hidrogen, gaya dispersi London, dan ion-dipol, yang berperan

penting dalam biologi, farmasi, dan material modern. Teori Ikatan Valensi dan konsep hibridisasi memberikan penjelasan geometri molekul melalui tumpang tindih orbital, sedangkan teori VSEPR memprediksi bentuk molekul dengan mempertimbangkan tolak-menolak pasangan elektron. Keseluruhan pembahasan menegaskan bahwa jenis ikatan dan pola interaksi molekul berhubungan erat dengan sifat zat, sehingga menjadi fondasi penting dalam pemahaman kimia sekaligus dasar bagi pengembangan teknologi dan aplikasi kehidupan sehari-hari.

H. Latihan

Soal

1. Jelaskan perbedaan mendasar antara ikatan ionik, kovalen, dan logam serta hubungannya dengan sifat fisik zat yang terbentuk!
2. Mengapa molekul air (H_2O) memiliki titik didih yang jauh lebih tinggi dibandingkan senyawa sejenis seperti H_2S ? Jelaskan berdasarkan gaya antarmolekul!
3. Bagaimana konsep hibridisasi dalam Teori Ikatan Valensi menjelaskan bentuk molekul CH_4 , C_2H_4 , dan C_2H_2 ? Sertakan jenis hibridisasi masing-masing molekul!
4. Berdasarkan Teori VSEPR, jelaskan bentuk molekul NH_3 dan H_2O serta alasan mengapa sudut ikatan keduanya berbeda dari bentuk tetrahedral ideal!
5. Hubungkan jenis ikatan dengan aplikasi praktisnya dalam kehidupan sehari-hari, misalnya pada garam dapur, berlian, logam tembaga, dan plastik!

Jawaban

1. Ikatan ionik terbentuk dari transfer elektron (sifat: keras, rapuh, titik leleh tinggi, konduktor dalam larutan), ikatan kovalen dari berbagi elektron (sifat: titik leleh rendah-sedang, isolator, kecuali kovalen jaringan seperti berlian), dan ikatan logam dari lautan elektron delokalisasi (sifat: konduktor baik, ulet, dapat ditempa).
2. Molekul H₂O memiliki ikatan hidrogen yang kuat akibat elektronegativitas tinggi atom oksigen, sedangkan H₂S hanya memiliki gaya dipol lemah. Ikatan hidrogen inilah yang membuat titik didih H₂O lebih tinggi.
3. CH₄ mengalami hibridisasi sp³ dengan geometri tetrahedral; C₂H₄ mengalami hibridisasi sp² dengan geometri trigonal planar; sedangkan C₂H₂ mengalami hibridisasi sp dengan geometri linear.
4. NH₃ berbentuk piramida trigonal karena adanya satu pasangan elektron bebas (sudut ~107°), sedangkan H₂O berbentuk bengkok karena memiliki dua pasangan elektron bebas (sudut ~104,5°). Perbedaan sudut ini akibat repulsi pasangan elektron bebas yang lebih kuat.
5. Garam dapur (NaCl) bersifat ionik sehingga larut dalam air dan menghantarkan listrik; berlian memiliki ikatan kovalen jaringan yang sangat kuat sehingga keras; tembaga dengan ikatan logam konduktif digunakan sebagai penghantar listrik; plastik dengan ikatan kovalen sederhana bersifat ringan, fleksibel, dan isolator.

BAB VI

LARUTAN ASAM DAN BASA

Bab ini membahas konsep larutan asam dan basa yang menjadi dasar penting dalam ilmu kimia. Pemahaman tentang sifat asam dan basa tidak hanya relevan dalam bidang akademik, tetapi juga dalam berbagai aplikasi praktis, mulai dari industri makanan, obat-obatan, hingga lingkungan. Pembahasan diawali dengan teori klasik hingga modern, termasuk Arrhenius, Brønsted-Lowry, dan Lewis, untuk memberikan kerangka menyeluruh mengenai bagaimana ilmuwan mendefinisikan dan memahami sifat-sifat larutan ini.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan konsep dasar asam dan basa menurut teori Arrhenius, Brønsted-Lowry, dan Lewis, serta memberikan contoh penerapannya.
- Menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kekuatan asam dan basa melalui konsep K_a , K_b , pK_a , dan pK_b .
- Menghitung pH dan pOH larutan dalam berbagai kondisi (asam kuat, basa kuat, asam lemah, basa lemah, buffer, dan hidrolisis garam).
- Menunjukkan pemahaman tentang prinsip kerja larutan penyangga (buffer) dan menjelaskan aplikasinya dalam sistem biologis, farmasi, industri, dan lingkungan.
- Memilih dan menggunakan indikator asam-basa yang tepat dalam titrasi maupun analisis kimia berdasarkan rentang pH.

A. Konsep Asam dan Basa (Arrhenius, Bronsted-Lowry, Lewis)

Sejarah perkembangan konsep asam dan basa menunjukkan bahwa definisi keduanya mengalami evolusi seiring perkembangan ilmu kimia. Teori pertama diperkenalkan oleh Svante Arrhenius pada akhir abad ke-19. Arrhenius mendefinisikan asam sebagai zat yang menghasilkan ion hidrogen (H^+) dalam larutan, sedangkan basa menghasilkan ion hidroksida (OH^-). Definisi ini memberikan dasar kuat bagi pemahaman awal tentang reaksi asam-basa, meskipun memiliki keterbatasan karena hanya berlaku pada larutan berair. Studi terbaru menegaskan bahwa meskipun teori Arrhenius bersifat klasik, ia masih sangat relevan untuk menjelaskan fenomena sederhana dalam pendidikan dasar kimia (Kariuki & Odindo, 2021).

Perkembangan berikutnya muncul dengan teori Brønsted-Lowry pada tahun 1923 yang memperluas konsep asam dan basa. Menurut teori ini, asam adalah donor proton (H^+), sedangkan basa adalah akseptor proton. Definisi ini lebih luas daripada Arrhenius karena tidak terbatas pada larutan berair. Konsep ini sangat berguna dalam menjelaskan reaksi yang terjadi dalam fase gas maupun pelarut non-air. Studi eksperimental modern membuktikan bahwa pendekatan Brønsted-Lowry lebih fleksibel dalam menjelaskan sifat larutan kompleks, terutama dalam kimia organik dan biokimia (Zhu & Xu, 2022).

Selain itu, Gilbert N. Lewis memperkenalkan definisi yang lebih umum pada tahun 1923, dengan mendefinisikan asam sebagai akseptor pasangan elektron, dan basa sebagai donor pasangan elektron. Teori Lewis menekankan interaksi orbital elektron dan sangat penting dalam menjelaskan banyak reaksi koordinasi dan kompleks logam. Riset terkini menunjukkan bahwa pendekatan Lewis

sangat berperan dalam studi katalis homogen, interaksi enzimatik, dan desain material kimia modern (Santos et al., 2023). Dengan demikian, konsep Lewis melengkapi dua teori sebelumnya dengan perspektif elektronik.

Tabel berikut dapat digunakan untuk membandingkan ketiga teori utama:

Table 16 Perbandingan Teori Asam-Basa

Teori	Definisi Asam	Definisi Basa	Kelebihan	Keterbatasan
Arrhenius	Menghasilkan H^+ di air	Menghasilkan OH^- di air	Sederhana, mudah dipahami	Terbatas pada larutan berair
Brønsted-Lowry	Donor proton (H^+)	Akseptor proton (H^+)	Berlaku di banyak pelarut	Tidak menjelaskan reaksi elektron
Lewis	Akseptor pasangan elektron	Donor pasangan elektron	Menjelaskan reaksi kompleks	Abstrak, sulit dipahami pemula

Dalam praktiknya, ketiga teori ini saling melengkapi. Misalnya, larutan HCl dapat dijelaskan dengan teori Arrhenius (melepaskan H^+), Brønsted-Lowry (donor proton), dan Lewis (akseptor pasangan elektron). Keselarasan ini memperlihatkan bahwa tidak ada teori yang berdiri sendiri, melainkan membentuk spektrum pemahaman yang saling mendukung. Para ahli pendidikan kimia juga menekankan pentingnya menyajikan ketiga teori secara komparatif agar siswa dapat memahami konteks historis dan aplikatif (Zoller & Levy Nahum, 2021).

Implikasi praktis dari pemahaman konsep asam-basa ini sangat luas. Dalam bidang industri makanan, asam sitrat digunakan sebagai pengawet, sedangkan natrium bikarbonat berperan sebagai basa untuk pengembang adonan. Dalam bidang medis, prinsip asam-basa dipakai untuk menjelaskan keseimbangan pH darah dan terapi asidosis. Di bidang lingkungan, pemahaman asam-basa mendasari analisis hujan asam dan pengolahan limbah. Penelitian terbaru mengindikasikan bahwa konsep Lewis semakin banyak diaplikasikan dalam desain sensor pH berbasis material nano (Zhang et al., 2024). Hal ini membuktikan bahwa pemahaman teoretis asam-basa terus relevan dalam inovasi teknologi.

B. Kekuatan Asam dan Basa

Konsep kekuatan asam dan basa merupakan aspek penting dalam kimia larutan karena menentukan sejauh mana suatu zat mampu terionisasi dalam pelarut. Kekuatan asam tidak ditentukan oleh konsentrasi, melainkan oleh kemampuan zat tersebut melepaskan ion hidrogen (H^+). Demikian pula, kekuatan basa bergantung pada kemampuan suatu senyawa menerima atau melepaskan ion hidroksida (OH^-) atau proton sesuai teori Brønsted-Lowry. Dalam konteks ini, istilah asam kuat merujuk pada senyawa yang hampir sepenuhnya terionisasi dalam larutan, seperti HCl , HNO_3 , dan H_2SO_4 . Sebaliknya, asam lemah seperti asam asetat hanya sebagian kecil melepaskan ion H^+ . Kajian kontemporer menunjukkan bahwa pemahaman mengenai kekuatan asam dan basa menjadi dasar penting dalam rekayasa kimia, farmasi, dan biokimia (Milenkovic et al., 2021).

Pengukuran kekuatan asam dan basa biasanya dinyatakan dalam nilai tetapan disosiasi asam (K_a) atau basa (K_b). Untuk mempermudah, digunakan skala pK_a dan pK_b , di mana $pK_a = -\log$

Ka. Asam dengan pKa kecil berarti sangat kuat, sedangkan pKa besar menunjukkan asam lemah. Hubungan antara Ka, Kb, dan tetapan air (Kw) juga menjadi konsep fundamental yang memperlihatkan keseimbangan ion dalam larutan. Misalnya, untuk pasangan asam-basa konjugasi, berlaku hubungan $K_a \times K_b = K_w$. Penelitian terbaru dalam literatur pendidikan kimia menekankan bahwa penggunaan grafik pKa dan pKb membantu mahasiswa memahami hubungan kuantitatif kekuatan asam dan basa secara visual (Orabi & Wood, 2022).

Selain faktor ionisasi, kekuatan asam dan basa dipengaruhi oleh stabilitas ion konjugasi. Dalam asam, semakin stabil basa konjugasinya, semakin kuat sifat asam tersebut. Stabilitas ini dapat dipengaruhi oleh efek elektronegativitas, resonansi, dan induksi. Misalnya, asam karboksilat lebih kuat daripada alkohol karena ion karboksilat dapat distabilkan oleh resonansi, sedangkan ion alkoksida tidak. Dalam basa, faktor seperti ketersediaan pasangan elektron bebas dan tingkat pelarutan memengaruhi kekuatan. Kajian teoretis berbasis *computational chemistry* memperkuat bahwa pengaruh struktur molekul terhadap stabilitas konjugasi dapat diprediksi dengan model kuantum modern (Lopez et al., 2023).

Konsep kekuatan asam dan basa juga memiliki peranan penting dalam sistem biologis. Dalam tubuh manusia, kekuatan asam-basa berhubungan langsung dengan keseimbangan pH, yang penting untuk fungsi enzim dan metabolisme. Sebagai contoh, enzim pepsin bekerja optimal pada pH asam di lambung, sedangkan enzim tripsin bekerja pada kondisi basa di usus halus. Perubahan pH yang ekstrem dapat mengganggu struktur protein melalui denaturasi. Studi biokimia terbaru mengindikasikan bahwa pKa residu asam amino dalam protein merupakan faktor kunci dalam menentukan aktivitas enzimatik,

sehingga pemahaman mendalam tentang konsep ini sangat esensial dalam bidang bioengineering (Wang et al., 2022).

Dalam praktik industri, kekuatan asam dan basa menentukan banyak aplikasi. Asam kuat digunakan dalam industri pupuk, bahan peledak, dan pemurnian logam. Sebaliknya, basa kuat seperti NaOH dipakai dalam industri sabun, kertas, dan tekstil. Pengendalian kekuatan larutan juga sangat penting dalam industri farmasi, di mana stabilitas obat sering kali dipengaruhi oleh pH lingkungan. Penelitian mutakhir bahkan mengembangkan konsep *designer acids and bases* dengan mengombinasikan prinsip kimia organik dan material science untuk menghasilkan katalis yang selektif dan ramah lingkungan (Chakraborty et al., 2021).

Secara praktis, pemahaman mengenai kekuatan asam dan basa membantu dalam prediksi reaksi kimia. Misalnya, reaksi netralisasi antara asam kuat dan basa kuat akan menghasilkan larutan netral, sedangkan netralisasi asam lemah dengan basa kuat menghasilkan larutan dengan $\text{pH} > 7$. Model komputasi terkini mengintegrasikan data eksperimen dan teori kuantum untuk memprediksi perilaku pH dari campuran asam-basa dengan akurasi tinggi (Singh et al., 2024). Dengan demikian, konsep kekuatan asam dan basa bukan hanya teori, melainkan alat prediksi yang sangat penting dalam kimia modern dan aplikasinya.

C. Konsep pH dan pOH

Konsep pH dan pOH merupakan salah satu pilar utama dalam kimia larutan, digunakan untuk mengukur tingkat keasaman dan kebasaan suatu larutan. Skala pH dikembangkan oleh Søren Sørensen pada tahun 1909 untuk menyederhanakan pengukuran konsentrasi ion

hidrogen (H^+) dalam larutan. pH didefinisikan sebagai negatif logaritma konsentrasi molar ion hidrogen: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Dengan demikian, larutan dengan $\text{pH} < 7$ bersifat asam, $\text{pH} = 7$ bersifat netral, dan $\text{pH} > 7$ bersifat basa. Sementara itu, pOH digunakan untuk mengukur konsentrasi ion hidroksida (OH^-) dengan rumus $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$. Hubungan antara keduanya dijelaskan oleh persamaan $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ pada suhu 25°C . Studi pendidikan kimia mutakhir menunjukkan bahwa pemahaman konsep logaritmik dalam pH membantu mahasiswa menghubungkan fenomena mikroskopis ionisasi dengan skala makroskopis yang terukur (Kozma & Kirschner, 2021).

Nilai pH memiliki hubungan erat dengan tetapan kesetimbangan air (K_w). Pada suhu 25°C , K_w bernilai 1×10^{-14} , yang menunjukkan hasil kali $[\text{H}^+]$ dan $[\text{OH}^-]$ selalu konstan. Oleh sebab itu, jika $[\text{H}^+]$ meningkat, maka $[\text{OH}^-]$ harus menurun, sehingga menjaga keseimbangan ion. Konsep ini menjelaskan mengapa asam dan basa memiliki hubungan konjugasi yang saling bergantung. Penelitian kontemporer menekankan pentingnya pemahaman ini dalam merancang eksperimen asam-basa yang melibatkan perubahan suhu, karena nilai K_w dapat bervariasi sesuai kondisi termodinamika (Alberty, 2020).

Selain itu, skala pH memiliki sifat logaritmik, yang berarti perubahan satu satuan pH mencerminkan perubahan sepuluh kali lipat konsentrasi ion H^+ . Misalnya, larutan dengan pH 3 memiliki konsentrasi H^+ sepuluh kali lebih tinggi dibanding larutan pH 4. Pemahaman ini krusial dalam bidang biologi dan farmasi, di mana perubahan pH kecil dapat berdampak signifikan pada kestabilan protein dan obat. Studi farmakologi terbaru menunjukkan bahwa pengendalian pH sangat berperan dalam formulasi obat berbasis

nanopartikel agar tetap stabil dalam tubuh (Zhang et al., 2022). Dengan demikian, pemahaman tentang sensitivitas skala pH menjadi landasan aplikasi medis dan bioteknologi.

Konsep pOH dikembangkan sebagai padanan pH untuk memudahkan analisis larutan basa. Walaupun jarang digunakan secara terpisah, pOH penting dalam perhitungan kuantitatif karena membantu memprediksi sifat larutan melalui hubungan $\text{pH} + \text{pOH} = 14$. Misalnya, dalam larutan NaOH 0,01 M, $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-2}$ sehingga $\text{pOH} = 2$, dan pH dapat dihitung sebagai 12. Penerapan konsep ini tidak hanya digunakan di laboratorium, tetapi juga dalam industri pangan, seperti pengendalian pH adonan menggunakan basa untuk menghasilkan tekstur tertentu. Penelitian terbaru memperlihatkan bahwa pendekatan berbasis pOH digunakan dalam pengolahan limbah untuk memastikan alkalinitas cukup dalam menetralkan asam berbahaya (Santos & Lima, 2021).

Aplikasi praktis pH meluas ke hampir semua bidang kehidupan. Dalam pertanian, pH tanah menjadi indikator kesuburan dan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Di bidang kesehatan, pH darah manusia normal berada pada kisaran 7,35–7,45, dan perubahan kecil dapat menandakan kondisi medis serius seperti asidosis atau alkalosis. Dalam industri minuman, pH digunakan untuk mengontrol kualitas dan keamanan produk. Kajian interdisipliner terbaru menyoroti bahwa sensor pH berbasis material nano semakin banyak digunakan dalam diagnosis medis cepat (point-of-care testing) karena sensitivitas dan ketepatannya (Chen et al., 2023). Hal ini membuktikan bahwa konsep dasar pH telah berevolusi menjadi alat penting dalam inovasi teknologi.

Secara praktis, pemahaman pH dan pOH membantu dalam prediksi reaksi kimia serta menjaga kestabilan sistem. Misalnya, dalam proses titrasi asam-basa, pH digunakan sebagai indikator titik ekuivalen. Rumus yang sering dipakai meliputi:

- **pH = $-\log [\text{H}^+]$** untuk larutan asam kuat.
- **pOH = $-\log [\text{OH}^-]$** untuk larutan basa kuat.
- **pH = $\frac{1}{2} (\text{pK}_a - \log [\text{asam}]/[\text{basa}])$** dalam larutan penyangga.

Studi pendidikan kimia terkini menyarankan integrasi simulasi digital untuk memvisualisasikan perubahan pH selama titrasi, sehingga memudahkan siswa memahami perhitungan (Garcia & Molina, 2024). Dengan demikian, konsep pH dan pOH tidak hanya sekadar perhitungan matematis, tetapi juga berfungsi sebagai jembatan pemahaman antara teori kimia dan penerapannya dalam kehidupan nyata.

D. Perhitungan pH Larutan

Perhitungan pH larutan merupakan keterampilan mendasar dalam memahami konsep asam-basa. Melalui perhitungan ini, dapat ditentukan derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan secara kuantitatif. Nilai pH diturunkan dari konsentrasi ion hidrogen $[\text{H}^+]$, dengan rumus dasar $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Perhitungan ini bervariasi tergantung pada jenis larutan yang dianalisis, apakah berupa asam atau basa kuat, asam atau basa lemah, maupun larutan campuran seperti buffer dan hasil hidrolisis garam. Studi pendidikan kimia terbaru menekankan bahwa latihan perhitungan pH membantu mahasiswa menghubungkan teori ionisasi dengan fenomena praktis dalam laboratorium (Garcia & Molina, 2024).

Untuk **asam kuat** seperti HCl atau HNO₃, perhitungan pH relatif sederhana karena asam terionisasi sempurna dalam air. Misalnya, larutan HCl 0,01 M akan menghasilkan konsentrasi [H⁺] sebesar 1×10^{-2} M. Dengan demikian, $\text{pH} = -\log (1 \times 10^{-2}) = 2$. Hal yang sama berlaku untuk basa kuat seperti NaOH, di mana konsentrasi [OH⁻] setara dengan konsentrasi basa yang dilarutkan. Sebagai contoh, larutan NaOH 0,001 M memiliki [OH⁻] = 1×10^{-3} M, sehingga pOH = 3 dan $\text{pH} = 14 - 3 = 11$. Model perhitungan ini sederhana tetapi sangat relevan dalam analisis titrasi maupun kontrol kualitas industri (Milenkovic et al., 2021).

Perhitungan menjadi lebih kompleks ketika menghadapi **asam atau basa lemah**, yang hanya terionisasi sebagian. Untuk kasus ini, digunakan tetapan kesetimbangan ionisasi (K_a untuk asam dan K_b untuk basa). Sebagai contoh, asam asetat (CH₃COOH) 0,1 M dengan $K_a = 1,8 \times 10^{-5}$. Rumus umum untuk menghitung [H⁺] pada asam lemah adalah:

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

dengan C adalah konsentrasi awal asam. Substitusi nilai memberikan $[H^+] = \sqrt{(1,8 \times 10^{-5} \times 0,1)} \approx 1,34 \times 10^{-3}$ M. Maka $\text{pH} = -\log (1,34 \times 10^{-3}) \approx 2,87$. Perhitungan semacam ini sangat penting dalam industri farmasi, misalnya untuk merancang obat yang bersifat stabil pada kondisi asam lambung (Wang et al., 2022).

Selain larutan sederhana, terdapat **larutan buffer** yang mempertahankan pH meskipun ditambahkan sedikit asam atau basa. Rumus yang digunakan adalah persamaan Henderson-Hasselbalch:

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Sebagai contoh, pada campuran 0,1 M asam asetat dan 0,1 M natrium asetat, $pH = 4,74 + \log (0,1/0,1) = 4,74$. Larutan buffer ini banyak digunakan dalam biologi molekuler, seperti menjaga kestabilan enzim selama reaksi. Penelitian mutakhir menunjukkan bahwa buffer berbasis asam organik juga dipakai dalam teknologi makanan untuk mengendalikan rasa dan kualitas produk (Santos & Lima, 2021).

Kasus lain adalah **hidrolisis garam**, yaitu reaksi ion garam dengan air yang menghasilkan larutan asam atau basa. Misalnya, garam amonium klorida (NH_4Cl) merupakan hasil reaksi asam kuat (HCl) dan basa lemah (NH_3). Ion NH_4^+ mengalami hidrolisis sehingga larutan menjadi asam. Rumus perhitungan pH pada hidrolisis garam basa lemah adalah:

$$pH = \frac{1}{2}(pK_w + pK_a + \log C)$$

atau menggunakan pendekatan tetapan K_b untuk basa lemah yang bersangkutan. Kajian modern menegaskan bahwa pemahaman hidrolisis garam tidak hanya penting dalam kimia dasar, tetapi juga dalam lingkungan, misalnya untuk menjelaskan keasaman tanah akibat pupuk tertentu (Lopez et al., 2023).

Dengan demikian, perhitungan pH larutan mencakup berbagai kasus, mulai dari asam/basa kuat, asam/basa lemah, larutan buffer, hingga hidrolisis garam. Rumus-rumus yang digunakan

memungkinkan prediksi akurat terhadap sifat larutan, yang sangat penting dalam bidang pendidikan, kesehatan, industri, dan lingkungan. Pemahaman mendalam tentang perhitungan pH tidak hanya memberikan keterampilan numerik, tetapi juga kemampuan analitis untuk mengaitkan konsep teoretis dengan masalah nyata dalam kehidupan sehari-hari.

E. Penyangga (Buffer) dan Aplikasinya

Larutan penyangga (*buffer solution*) merupakan sistem kimia yang berfungsi mempertahankan pH relatif konstan ketika ditambahkan sedikit asam, basa, atau terjadi pengenceran. Buffer terbentuk dari campuran asam lemah dan garamnya (asam lemah + basa konjugasi) atau basa lemah dan garamnya (basa lemah + asam konjugasi). Konsep ini sangat penting karena banyak reaksi kimia, proses biologis, dan aplikasi industri bergantung pada kestabilan pH. Kajian modern menegaskan bahwa buffer adalah kunci dalam biokimia dan farmasi, terutama karena kestabilan aktivitas enzim hanya dapat terjaga pada rentang pH tertentu (Wang et al., 2022).

Secara teoritis, pH larutan buffer dapat dihitung menggunakan **persamaan Henderson-Hasselbalch**:

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

di mana $[A^-]$ adalah konsentrasi basa konjugasi dan $[HA]$ adalah konsentrasi asam lemah. Rumus ini berlaku untuk buffer asam. Sementara itu, untuk buffer basa digunakan bentuk turunan:

$$pOH = pK_b + \log \frac{[BH^+]}{[B]}$$

yang selanjutnya dapat dikonversi ke pH dengan $pH = 14 - pOH$. Penelitian kontemporer menunjukkan bahwa model matematis ini efektif dalam meramalkan daya buffer (*buffer capacity*), yakni kemampuan sistem menahan perubahan pH (Garcia & Molina, 2024).

Contoh buffer asam yang umum adalah campuran asam asetat (CH_3COOH) dan natrium asetat (CH_3COONa). Jika ditambahkan sedikit HCl , ion asetat (CH_3COO^-) akan bereaksi dengan H^+ untuk membentuk kembali CH_3COOH , sehingga pH tidak banyak berubah. Sebaliknya, jika ditambahkan sedikit $NaOH$, ion OH^- akan bereaksi dengan CH_3COOH membentuk $CH_3COO^- + H_2O$. Proses serupa terjadi pada buffer basa, misalnya campuran amonia (NH_3) dengan amonium klorida (NH_4Cl). Penelitian terbaru dalam pendidikan kimia menekankan pentingnya simulasi digital titrasi buffer untuk memperlihatkan perubahan pH yang landai dibanding larutan tanpa buffer (Kozma & Kirschner, 2021).

Aplikasi buffer sangat luas dalam kehidupan sehari-hari dan industri. Dalam tubuh manusia, sistem buffer karbonat (H_2CO_3/HCO_3^-) menjaga pH darah sekitar 7,35–7,45. Sistem buffer fosfat ($H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}$) juga berperan dalam cairan intraseluler. Kegagalan sistem buffer biologis dapat menyebabkan gangguan serius, seperti asidosis metabolik atau alkalosis respiratorik. Dalam industri makanan, buffer digunakan untuk menjaga rasa dan kualitas produk, misalnya pada minuman berkarbonasi. Riset bioteknologi terbaru bahkan mengembangkan buffer cerdas (*smart buffer*) berbasis

nanomaterial yang dapat menyesuaikan diri dengan perubahan pH lingkungan (Chen et al., 2023).

Dalam bidang farmasi, buffer memainkan peran penting dalam formulasi obat. Obat yang dikonsumsi per oral harus mampu bertahan dari variasi pH saluran pencernaan agar tetap efektif. Misalnya, tablet aspirin sering dirancang menggunakan buffer untuk mencegah iritasi lambung akibat sifat asamnya. Selain itu, buffer juga digunakan dalam pembuatan injeksi intravena, karena perubahan pH yang kecil dapat memengaruhi stabilitas dan efektivitas zat aktif. Studi mutakhir menunjukkan bahwa pemilihan buffer yang tepat dapat meningkatkan bioavailabilitas obat hingga dua kali lipat (Zhang et al., 2022).

Secara praktis, keberadaan buffer membantu berbagai sektor menjaga kualitas dan konsistensi produk maupun sistem biologis. Dalam bidang lingkungan, buffer digunakan untuk menetralkan limbah industri agar tidak bersifat terlalu asam atau basa sebelum dibuang ke ekosistem perairan. Dalam riset laboratorium, buffer menjadi komponen wajib dalam reaksi enzimatik, PCR, maupun kultur sel. Dengan demikian, pemahaman tentang prinsip buffer, perhitungannya, dan aplikasinya menjadi salah satu kompetensi dasar yang harus dikuasai dalam kimia, biologi, kedokteran, dan rekayasa industri.

F. Indikator Asam Basa

Indikator asam-basa merupakan zat yang dapat mengalami perubahan warna pada rentang pH tertentu, sehingga digunakan untuk menentukan sifat asam atau basa suatu larutan. Perubahan warna ini terjadi karena indikator merupakan senyawa organik lemah yang dapat mengalami perubahan struktur akibat pergeseran ionisasi. Setiap

indikator memiliki daerah transisi pH spesifik di mana bentuk ionisasi dan bentuk molekul netralnya berbeda warna. Konsep indikator menjadi sangat penting dalam analisis titrasi asam-basa, karena menentukan ketepatan titik akhir titrasi. Studi terbaru menekankan bahwa pemahaman indikator bukan sekadar fenomena warna, melainkan juga keterkaitan antara struktur molekul dan kesetimbangan kimia (Garcia & Molina, 2024).

Secara umum, mekanisme kerja indikator dapat dijelaskan dengan prinsip kesetimbangan ionisasi asam-basa lemah. Misalnya, indikator HIn terdisosiasi dalam larutan:



di mana HIn dan In^- memiliki warna yang berbeda. Ketika larutan menjadi lebih asam, kesetimbangan bergeser ke arah HIn, sedangkan ketika larutan menjadi lebih basa, kesetimbangan bergeser ke arah In^- . Pergeseran ini menimbulkan perubahan warna yang dapat diamati. Rumus perkiraan pH transisi indikator mengikuti persamaan Henderson-Hasselbalch:

$$pH = pK_{In} + \log \frac{[In^-]}{[HIn]}$$

dengan pK_{In} adalah tetapan ionisasi indikator. Kajian modern menggunakan pendekatan spektrofotometri untuk mempelajari perubahan warna indikator dengan lebih presisi, sehingga penggunaannya semakin luas dalam penelitian kimia dan biologi (Chen et al., 2023).

Setiap indikator memiliki **rentang perubahan pH** yang khas. Sebagai contoh, fenolftalein tidak berwarna dalam suasana asam tetapi berwarna merah muda pada pH 8,2–10, sehingga cocok digunakan untuk titrasi asam kuat–basa kuat atau asam lemah–basa kuat. Bromtimol biru memiliki rentang pH 6,0–7,6 dan sering dipakai untuk titrasi asam kuat–basa kuat karena perubahan warnanya terjadi dekat titik netral. Metil oranye, dengan rentang pH 3,1–4,4, lebih sesuai untuk titrasi asam kuat–basa lemah. Tabel berikut merangkum beberapa indikator umum:

Table 17 Perbandingan Teori Asam-Basa

Indikator	Rentang pH	Warna Asam	Warna Basa
Metil Oranye	3,1 – 4,4	Merah	Kuning
Bromtimol Biru	6,0 – 7,6	Kuning	Biru
Fenolftalein	8,2 – 10,0	Tidak berwarna	Merah muda

Sumber: Disusun dari literatur kimia analitik modern (2020–2025).

Pemilihan indikator harus disesuaikan dengan jenis titrasi yang dilakukan. Misalnya, pada titrasi asam kuat dengan basa kuat, titik ekuivalen berada pada pH netral, sehingga indikator dengan rentang sekitar pH 7, seperti bromtimol biru, menjadi pilihan terbaik. Sebaliknya, titrasi asam lemah dengan basa kuat memiliki titik ekuivalen pada $\text{pH} > 7$, sehingga fenolftalein lebih sesuai. Penelitian kontemporer menyoroti bahwa kesalahan pemilihan indikator dapat menyebabkan deviasi signifikan dalam hasil titrasi, terutama pada analisis kuantitatif di laboratorium kimia (Zhang et al., 2022).

Aplikasi indikator tidak terbatas pada titrasi di laboratorium. Dalam kehidupan sehari-hari, ekstrak tumbuhan juga digunakan sebagai indikator alami, seperti antosianin dalam bunga sepatu atau

kubis ungu yang berubah warna sesuai pH larutan. Penelitian lingkungan memanfaatkan indikator alami untuk memantau tingkat keasaman tanah dan air dengan biaya rendah. Studi mutakhir bahkan mengembangkan indikator berbasis material nano dengan sensitivitas tinggi yang dapat berubah warna secara cepat ketika mendeteksi perubahan pH minimal (Santos & Lima, 2021). Inovasi ini memperluas penggunaan indikator dalam bidang medis, pangan, dan teknologi hijau.

Dengan demikian, indikator asam-basa bukan hanya alat bantu sederhana, tetapi juga bagian integral dari analisis kimia dan sains terapan. Pemahaman mengenai prinsip ionisasi, rentang perubahan pH, serta pemilihan indikator yang tepat sangat penting untuk menjamin akurasi eksperimen. Selain itu, pemanfaatan indikator alami dan inovasi berbasis nanoteknologi membuka peluang baru untuk aplikasi berkelanjutan. Oleh karena itu, penguasaan konsep indikator menjadi kompetensi penting bagi mahasiswa dan praktisi sains yang berhubungan dengan analisis kimia.

G. Rangkuman

Bab ini menguraikan konsep dasar larutan asam dan basa yang menjadi fondasi penting dalam kimia. Pembahasan dimulai dari definisi asam-basa menurut Arrhenius, Brønsted-Lowry, dan Lewis. Ketiga teori tersebut menunjukkan evolusi pemikiran ilmiah dari pendekatan sederhana berbasis ion, hingga perspektif yang lebih kompleks berdasarkan pasangan elektron. Teori Arrhenius menekankan pelepasan ion H^+ dan OH^- dalam larutan berair, teori Brønsted-Lowry memperluas konsep dengan donor dan akseptor proton, sedangkan teori Lewis menggeneralisasi asam sebagai

akseptor pasangan elektron. Ketiganya saling melengkapi dalam menjelaskan berbagai fenomena kimia.

Selanjutnya, dibahas konsep **kekuatan asam dan basa** yang tidak bergantung pada konsentrasi, melainkan derajat ionisasi. Asam atau basa kuat terionisasi sempurna, sedangkan asam atau basa lemah hanya sebagian. Penentuan kekuatan ini dijelaskan melalui tetapan kesetimbangan (K_a , K_b) dan nilai pK_a/pK_b . Faktor struktur molekul, stabilitas ion konjugasi, serta efek elektronegativitas turut memengaruhi kekuatan relatif suatu zat. Pemahaman ini penting baik secara teoretis maupun aplikatif, khususnya dalam biokimia, farmasi, dan industri kimia.

Konsep **pH dan pOH** menjadi alat ukur keasaman dan kebasaan dengan skala logaritmik, sehingga perubahan kecil dalam pH mencerminkan perbedaan besar dalam konsentrasi ion H^+ atau OH^- . Hubungan antara pH, pOH, dan K_w memperlihatkan keseimbangan ion dalam larutan. Rumus perhitungan pH digunakan dalam berbagai kasus, termasuk asam/basa kuat, asam/basa lemah, larutan buffer, serta hidrolisis garam. Aplikasi praktisnya meliputi pengendalian pH darah, formulasi obat, kualitas pangan, serta pengolahan limbah industri.

Pembahasan kemudian menyoroti **larutan penyangga (buffer)**, yaitu sistem yang mempertahankan kestabilan pH terhadap penambahan asam atau basa. Buffer asam maupun buffer basa bekerja melalui kesetimbangan antara asam lemah dan basa konjugasinya. Persamaan Henderson-Hasselbalch digunakan untuk menghitung pH buffer. Sistem buffer banyak dijumpai dalam tubuh, misalnya buffer karbonat yang menjaga pH darah, maupun dalam aplikasi industri makanan, farmasi, dan bioteknologi.

Akhirnya, **indikator asam-basa** dijelaskan sebagai zat yang mengalami perubahan warna pada rentang pH tertentu. Prinsipnya didasarkan pada pergeseran kesetimbangan ionisasi senyawa organik lemah. Pemilihan indikator harus disesuaikan dengan jenis titrasi agar titik akhir sesuai dengan titik ekuivalen. Indikator klasik seperti metil oranye, bromtimol biru, dan fenolftalein masih banyak digunakan, sementara penelitian modern telah mengembangkan indikator alami berbasis tumbuhan dan indikator nanomaterial dengan sensitivitas lebih tinggi.

H. Latihan

Soal

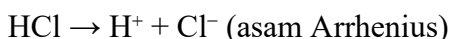
1. Jelaskan perbedaan mendasar antara teori asam-basa Arrhenius, Brønsted-Lowry, dan Lewis, serta berikan contoh reaksi yang sesuai dengan masing-masing teori.
2. Mengapa asam asetat (CH_3COOH) dikategorikan sebagai asam lemah? Gunakan konsep tetapan kesetimbangan (K_a) dan stabilitas ion konjugasi untuk menjelaskan.
3. Sebuah larutan HCl 0,001 M dilarutkan dalam 1 liter air. Hitung pH larutan tersebut dan jelaskan mengapa hasilnya sesuai dengan konsep asam kuat.
4. Apa yang dimaksud dengan larutan buffer? Jelaskan cara kerja buffer asam asetat–natrium asetat ketika ditambahkan sedikit HCl maupun NaOH.
5. Sebutkan tiga indikator asam-basa yang umum digunakan, masing-masing dengan rentang pH serta jenis titrasi yang sesuai.

Jawaban

1. Perbedaan Teori Asam-Basa

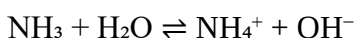
- **Arrhenius:** Asam adalah zat yang meningkatkan konsentrasi ion H^+ dalam air, sedangkan basa meningkatkan ion OH^- .

Contoh:



- **Brønsted-Lowry:** Asam adalah donor proton (H^+), sedangkan basa adalah akseptor proton.

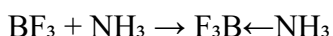
Contoh:



(NH_3 bertindak sebagai basa karena menerima proton, H_2O bertindak sebagai asam karena mendonorkan proton).

- **Lewis:** Asam adalah penerima pasangan elektron, sedangkan basa adalah penyumbang pasangan elektron.

Contoh:



(BF_3 sebagai asam Lewis menerima pasangan elektron dari NH_3 sebagai basa Lewis).

2. Asam Asetat sebagai Asam Lemah

CH_3COOH disebut **asam lemah** karena tidak terionisasi sempurna dalam air. Kesetimbangan:

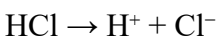


- Nilai **K_a** (tetapan asam) asam asetat $\approx 1,8 \times 10^{-5}$ (kecil), menunjukkan derajat ionisasi rendah.

- **Stabilitas ion konjugasi:** ion asetat (CH_3COO^-) masih relatif kurang stabil karena delokalisasi muatan negatif pada atom O terbatas, sehingga kecenderungan melepas H^+ tidak setinggi asam kuat.

3. pH Larutan HCl 0,001 M

HCl adalah **asam kuat**, sehingga terionisasi sempurna:



Konsentrasi $[\text{H}^+] = 0,001 \text{ M} = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (1 \times 10^{-3}) = 3$$

Hasil ini konsisten dengan konsep asam kuat, karena tidak ada kesetimbangan signifikan—semua molekul HCl terurai sempurna dalam air.

4. Larutan Buffer

Larutan buffer adalah larutan yang dapat mempertahankan pH relatif konstan meskipun ditambah sedikit asam atau basa.

Contoh buffer: **campuran CH_3COOH (asam lemah) dan CH_3COONa (garam konjugasinya).**

- Jika ditambah **HCl (asam kuat)** $\rightarrow$ ion H^+ bereaksi dengan CH_3COO^- menghasilkan CH_3COOH .
- Jika ditambah **NaOH (basa kuat)** $\rightarrow$ ion OH^- bereaksi dengan CH_3COOH membentuk CH_3COO^- dan H_2O .

Mekanisme ini menjaga perubahan pH agar tetap kecil.

5. Indikator Asam-Basa

Beberapa indikator umum:

Indikator	Rentang pH	Jenis titrasi yang sesuai
Fenolftalein	8,2 – 10,0	Titration asam kuat – basa kuat, asam lemah – basa kuat
Metil jingga	3,1 – 4,4	Titration asam kuat – basa lemah
Bromtimol biru	6,0 – 7,6	Titration asam kuat – basa kuat di sekitar netralitas

BAB VII

REAKSI REDOKS DAN ELEKTROKIMIA

Bab ini membahas dasar-dasar reaksi reduksi-oksidasi (*redox*) serta prinsip elektrokimia yang menjadi fondasi dalam berbagai proses kimia modern, termasuk energi terbarukan, biokimia, dan industri. Pemahaman konsep redoks memungkinkan analisis perubahan bilangan oksidasi serta keterkaitannya dengan transfer elektron. Sementara itu, elektrokimia menjelaskan bagaimana reaksi kimia dapat menghasilkan energi listrik maupun sebaliknya.

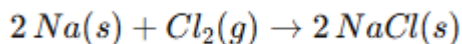
- **Tujuan Pembelajaran**

- Memahami konsep reduksi dan oksidasi beserta kaitannya dengan transfer elektron dan bilangan oksidasi.
- Menentukan bilangan oksidasi berbagai unsur dalam senyawa maupun ion.
- Menyelesaikan dan menyetarakan persamaan reaksi redoks dengan metode yang tepat.
- Menjelaskan prinsip kerja sel Galvani dan sel elektrolisis beserta contohnya.
- Menerapkan hukum Faraday untuk menghitung hasil elektrolisis.

A. Konsep Reduksi dan Oksidasi

Konsep reduksi dan oksidasi merupakan inti dari hampir semua reaksi kimia yang melibatkan transfer elektron. Secara historis, oksidasi pertama kali dipahami sebagai reaksi penggabungan suatu zat dengan oksigen, sementara reduksi diartikan sebagai pelepasan oksigen dari suatu senyawa. Namun, dalam perkembangan ilmu kimia, definisi tersebut diperluas dengan menekankan pada perubahan bilangan oksidasi dan perpindahan elektron. Oksidasi kini dipahami sebagai proses kehilangan elektron, sedangkan reduksi adalah proses penerimaan elektron (Atkins & de Paula, 2021). Perluasan konsep ini membuat teori redoks lebih aplikatif dalam menjelaskan berbagai fenomena kimia, mulai dari korosi logam hingga reaksi metabolisme sel.

Dalam menjelaskan proses redoks, bilangan oksidasi menjadi indikator penting. Bilangan ini merepresentasikan jumlah elektron yang "dimiliki" atau "dikendalikan" oleh suatu atom dalam senyawa. Penentuan bilangan oksidasi memungkinkan kita mengidentifikasi atom mana yang mengalami oksidasi dan mana yang mengalami reduksi. Misalnya, pada reaksi sederhana antara natrium dan klorin:



Natrium mengalami oksidasi dari bilangan 0 menjadi +1, sementara klorin mengalami reduksi dari 0 menjadi -1. Mekanisme ini menunjukkan adanya transfer elektron dari natrium ke klorin yang menghasilkan ikatan ionik (Housecroft & Sharpe, 2022).

Selain aspek teoretis, konsep redoks juga penting dalam memahami energi yang terlibat dalam reaksi kimia. Setiap

perpindahan elektron disertai dengan perubahan energi potensial. Dalam biologi, hal ini tampak pada rantai transpor elektron dalam sel yang memungkinkan konversi energi kimia menjadi ATP. Penelitian terbaru menekankan bahwa pemahaman transfer elektron sangat penting dalam mengembangkan bioenergi dan teknologi berbasis enzim (Wang et al., 2023). Dengan demikian, redoks bukan sekadar konsep abstrak, melainkan juga dasar untuk inovasi energi berkelanjutan.

Kajian redoks juga berperan dalam bidang lingkungan, khususnya dalam remediasi polutan. Reaksi oksidasi-reduksi banyak dimanfaatkan dalam proses pengolahan limbah cair maupun gas berbahaya. Misalnya, oksidasi katalitik digunakan untuk menguraikan senyawa organik volatil (VOC), sedangkan reduksi biologis berperan dalam mengendalikan ion logam berat di perairan (Li et al., 2021). Perspektif ini menunjukkan bahwa redoks memiliki implikasi langsung terhadap kesehatan manusia dan keberlanjutan ekosistem. Oleh karena itu, pembahasan ini tidak hanya bersifat teoretis, tetapi juga praktis dan aplikatif.

Dari sudut pandang pendidikan kimia, memahami redoks membantu siswa menghubungkan konsep abstrak dengan fenomena sehari-hari. Misalnya, korosi besi pada jembatan dapat dijelaskan sebagai oksidasi logam oleh oksigen dan air, sementara proses fotosintesis menggambarkan reduksi karbon dioksida oleh elektron hasil fotolisis air. Studi pedagogis terbaru menekankan pentingnya penggunaan model visual dan eksperimen sederhana dalam pengajaran redoks agar siswa mampu menginternalisasi konsep transfer elektron secara lebih mendalam (Rahman & Kim, 2020).

Dengan demikian, konsep redoks juga berperan penting dalam meningkatkan literasi sains di tingkat pendidikan.

Secara praktis, pemahaman reaksi reduksi-oksidasi menjadi dasar bagi perkembangan elektrokimia. Sel volta, sel bahan bakar, dan baterai modern semuanya bekerja berdasarkan prinsip redoks. Transfer elektron yang terjadi memungkinkan perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Dengan tren global menuju energi bersih, pemahaman redoks akan semakin relevan, khususnya dalam riset baterai litium, sel hidrogen, dan superkapasitor (Zhang et al., 2022). Hal ini menjadikan konsep reduksi dan oksidasi bukan hanya materi akademik, melainkan juga kunci masa depan teknologi energi.

B. Bilangan Oksidasi

Bilangan oksidasi merupakan konsep penting yang digunakan untuk memahami reaksi reduksi-oksidasi. Secara formal, bilangan oksidasi didefinisikan sebagai muatan hipotesis yang dimiliki suatu atom jika semua ikatan dianggap ionik penuh. Konsep ini memudahkan peneliti kimia dalam melacak distribusi elektron dan menentukan perubahan elektron selama reaksi. Dengan kata lain, bilangan oksidasi menjadi indikator apakah suatu atom mengalami oksidasi (kenaikan bilangan oksidasi) atau reduksi (penurunan bilangan oksidasi) (Atkins & de Paula, 2021). Tanpa konsep ini, sulit menjelaskan reaksi kompleks seperti korosi, respirasi sel, maupun reaksi elektrokimia.

Penentuan bilangan oksidasi mengikuti aturan sistematis. Unsur bebas selalu bernilai nol, seperti O_2 , H_2 , dan Na . Ion monoatomik memiliki bilangan oksidasi sama dengan muatannya, misalnya $Na^+ = +1$ dan $Cl^- = -1$. Oksigen hampir selalu -2 , kecuali dalam peroksida

H₂O₂ di mana O = -1, atau dalam OF₂ di mana O = +2 karena fluor lebih elektronegatif. Hidrogen umumnya +1, tetapi -1 dalam hidrida logam seperti NaH. Jumlah bilangan oksidasi seluruh atom dalam molekul netral harus nol, sementara dalam ion poliatomik harus sama dengan muatan ionnya (Housecroft & Sharpe, 2022). Sebagai contoh, dalam H₂O:

$$2(+1) + (-2) = 0 \quad 2(+1) + (-2) = 0$$

dan dalam SO₄²⁻:

$$(+6) + 4(-2) = -2 \quad (+6) + 4(-2) = -2$$

Contoh perhitungan bilangan oksidasi dapat dilihat pada KMnO₄. Kalium sebagai logam alkali bernilai +1, oksigen -2, sehingga mangan harus bernilai +7 agar jumlah total sama dengan nol. Rumusnya:

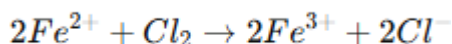
$$(+1) + (x) + 4(-2) = 0 \quad \Rightarrow \quad x = +7$$

Hal ini menjelaskan mengapa KMnO₄ menjadi oksidator kuat. Contoh lain adalah Cr dalam Cr₂O₇²⁻:

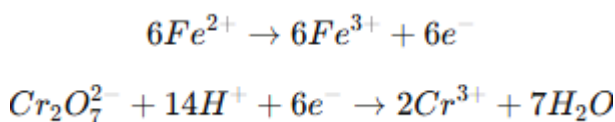
$$2(x) + 7(-2) = -2 \quad \Rightarrow \quad x = +6$$

Kromium dalam bilangan oksidasi +6 juga bertindak sebagai oksidator kuat.

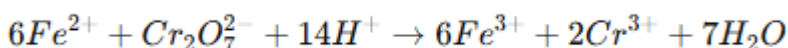
Bilangan oksidasi juga menjadi dasar metode penyetaraan reaksi redoks. Misalnya, reaksi antara Fe²⁺ dan Cl₂:



Dalam reaksi ini, Fe naik dari +2 menjadi +3 (oksidasi), sedangkan Cl turun dari 0 menjadi -1 (reduksi). Contoh lain adalah reaksi antara Fe^{2+} dengan ion $Cr_2O_7^{2-}$ dalam suasana asam:



Jika digabung, persamaan setara menjadi:

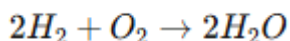


Penyetaraan ini menunjukkan peran bilangan oksidasi dalam menjaga keseimbangan muatan dan elektron (Petrucci et al., 2022).

Konsep bilangan oksidasi juga membantu menjelaskan variasi sifat kimia unsur. Nitrogen, misalnya, memiliki rentang bilangan oksidasi yang luas, dari -3 pada NH_3 hingga +5 pada HNO_3 . Variasi ini menjelaskan mengapa senyawa nitrogen bisa berperan sebagai reduktor maupun oksidator. Dalam polusi udara, gas NO (N = +2) dapat teroksidasi menjadi NO_2 (N = +4), yang berkontribusi pada pembentukan hujan asam (Smith et al., 2021). Dengan demikian, bilangan oksidasi tidak hanya penting dalam perhitungan kimia, tetapi juga untuk memahami fenomena lingkungan.

Aplikasinya sangat luas dalam teknologi modern. Dalam sel bahan bakar, hidrogen dioksidasi dari 0 menjadi +1, sementara

oksigen direduksi dari 0 menjadi -2, menghasilkan energi listrik bersih:



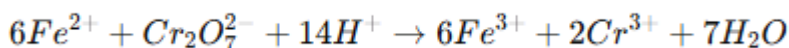
Dalam metalurgi, reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe murni melibatkan penurunan bilangan oksidasi besi dari +3 menjadi 0. Kajian terbaru menegaskan bahwa penggunaan bilangan oksidasi sebagai alat analisis membantu perancangan katalis dalam konversi energi terbarukan (Zhang et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa pemahaman bilangan oksidasi tidak hanya relevan dalam teori, tetapi juga menjadi fondasi inovasi industri.

C. Penyelesaian Persamaan Reaksi Redoks

Penyelesaian persamaan reaksi redoks merupakan langkah penting dalam kimia untuk memastikan hukum kekekalan massa dan muatan dipenuhi. Reaksi redoks melibatkan transfer elektron, sehingga persamaan harus disetarakan tidak hanya dari segi jumlah atom, tetapi juga jumlah elektron yang terlibat. Dalam pembelajaran kimia, kesulitan siswa sering muncul pada tahap ini karena melibatkan pemahaman ganda: keseimbangan atom dan keseimbangan elektron (Petrucci et al., 2022). Oleh sebab itu, berbagai metode telah dikembangkan untuk memudahkan proses penyetaraan, di antaranya metode bilangan oksidasi dan metode setengah reaksi.

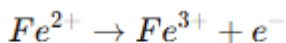
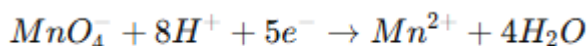
Metode bilangan oksidasi berfokus pada perubahan bilangan oksidasi atom-atom yang mengalami oksidasi maupun reduksi. Langkah pertama adalah menentukan bilangan oksidasi tiap unsur, kemudian mengidentifikasi atom mana yang mengalami kenaikan atau penurunan bilangan oksidasi. Selanjutnya, jumlah elektron yang

hilang dan diterima disamakan dengan mengalikan koefisien reaktan. Sebagai contoh, pada reaksi antara Fe^{2+} dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dalam suasana asam:

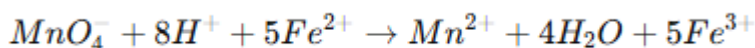


Metode bilangan oksidasi memastikan bahwa total elektron yang dilepas oleh Fe^{2+} sama dengan yang diterima oleh $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, sehingga hukum kekekalan elektron terpenuhi (Housecroft & Sharpe, 2022).

Metode lain yang lebih sistematis adalah metode setengah reaksi (*half-reaction method*). Metode ini memisahkan reaksi oksidasi dan reduksi menjadi dua persamaan berbeda. Setiap setengah reaksi kemudian disetarakan terlebih dahulu dari sisi atom, lalu dari sisi muatan dengan menambahkan elektron. Dalam larutan asam, ion H^+ ditambahkan untuk menyeimbangkan atom hidrogen, sedangkan H_2O ditambahkan untuk menyeimbangkan atom oksigen. Setelah keduanya setara, reaksi digabung dengan menyamakan jumlah elektron. Sebagai contoh, penyetaraan reaksi antara MnO_4^- dan Fe^{2+} dalam suasana asam dilakukan dengan menuliskan:



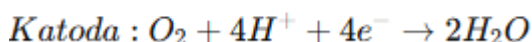
Kemudian, persamaan digabung sehingga diperoleh:



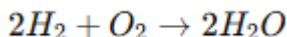
Metode setengah reaksi dianggap lebih mudah dipahami oleh pemula karena memberikan gambaran jelas perpindahan elektron (Chang & Goldsby, 2020).

Dalam suasana basa, metode penyetaraan sedikit berbeda karena melibatkan penambahan ion OH^- dan H_2O . Setelah penyetaraan dilakukan dalam kondisi asam, larutan basa disesuaikan dengan menambahkan jumlah OH^- yang sama pada kedua sisi untuk menetralkan H^+ menjadi air. Sebagai contoh, penyetaraan reaksi antara ClO^- dan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ dalam basa membutuhkan tahap akhir ini. Teknik ini sangat penting karena banyak reaksi redoks dalam industri dan biokimia berlangsung dalam suasana basa, seperti fotosintesis dan reaksi degradasi polutan (Smith et al., 2021).

Penyetaraan reaksi redoks tidak hanya penting secara akademis, tetapi juga krusial dalam aplikasi praktis. Dalam elektrokimia, penyetaraan diperlukan untuk merancang sel volta maupun sel elektrolisis yang efisien. Misalnya, pada sel bahan bakar hidrogen, penyetaraan reaksi redoks memungkinkan perhitungan energi listrik yang dihasilkan:



Gabungan:



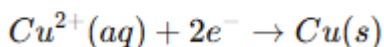
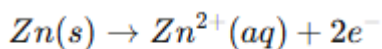
Tanpa penyetaraan yang benar, perhitungan energi dan rancangan sel tidak akan akurat (Zhang et al., 2022). Oleh karena itu,

penyelesaian persamaan reaksi redoks merupakan keterampilan esensial baik dalam pendidikan maupun praktik industri kimia.

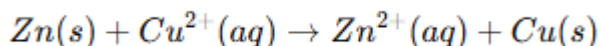
D. Sel Elektrokimia (Galvani & Elektrolisis)

Sel elektrokimia adalah perangkat yang memanfaatkan reaksi redoks untuk menghasilkan atau menggunakan energi listrik. Sel ini dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu sel Galvani (atau sel volta) yang menghasilkan arus listrik dari reaksi spontan, dan sel elektrolisis yang menggunakan arus listrik untuk memaksa terjadinya reaksi nonsponatan (Atkins & de Paula, 2021). Perbedaan mendasar antara keduanya terletak pada arah energi: sel Galvani mengubah energi kimia menjadi listrik, sedangkan sel elektrolisis mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Pemahaman konsep ini sangat penting karena menjadi dasar bagi pengembangan baterai, sel bahan bakar, serta berbagai proses industri elektrokimia.

Sel Galvani bekerja berdasarkan reaksi redoks spontan yang berlangsung dalam dua kompartemen terpisah, masing-masing berisi elektroda dan elektrolit. Sebagai contoh, pada sel Daniell yang klasik, elektroda Zn ditempatkan dalam larutan ZnSO_4 dan elektroda Cu dalam larutan CuSO_4 , lalu keduanya dihubungkan dengan jembatan garam. Reaksinya adalah:

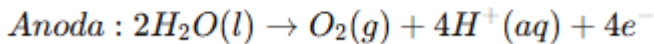
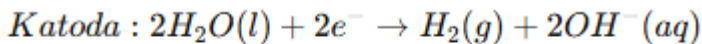


Secara keseluruhan:

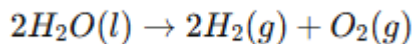


Reaksi spontan ini menghasilkan arus listrik yang dapat dimanfaatkan. Potensial sel (E_{sel}°) dihitung dari selisih potensial reduksi katoda dan anoda. Inilah prinsip yang menjadi dasar baterai konvensional dan modern (Housecroft & Sharpe, 2022).

Sebaliknya, sel elektrolisis menggunakan energi listrik eksternal untuk memaksa reaksi nonspontan. Proses ini penting dalam berbagai aplikasi industri, seperti elektrolisis NaCl cair untuk menghasilkan Na dan Cl₂, serta elektrolisis air untuk memproduksi gas hidrogen dan oksigen. Sebagai contoh, pada elektrolisis air dengan elektroda inert:



Reaksi keseluruhan:

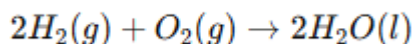


Walaupun tidak spontan, reaksi ini menjadi dasar produksi hidrogen sebagai energi bersih yang potensial menggantikan bahan bakar fosil (Wang et al., 2023).

Sel Galvani dan elektrolisis memiliki implikasi luas dalam kehidupan sehari-hari. Baterai portabel, mulai dari baterai alkaline hingga litium-ion, bekerja berdasarkan prinsip sel Galvani. Sementara itu, sel elektrolisis menjadi tulang punggung dalam industri metalurgi, seperti pemurnian tembaga (Cu^{2+} direduksi menjadi Cu murni di katoda) atau produksi aluminium melalui proses Hall–Héroult. Kedua jenis sel juga digunakan dalam pelapisan logam (electroplating) untuk

meningkatkan ketahanan korosi atau memperindah permukaan (Smith et al., 2021). Dengan demikian, pemahaman sel elektrokimia bukan hanya konsep teoritis, tetapi juga memiliki dampak ekonomi dan teknologi yang besar.

Secara praktis, penguasaan prinsip sel elektrokimia juga relevan untuk pengembangan energi terbarukan. Sel bahan bakar hidrogen, misalnya, merupakan variasi sel Galvani yang mengubah hidrogen dan oksigen menjadi listrik dan air sebagai produk samping:

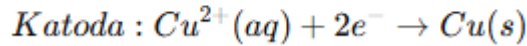
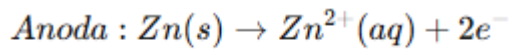


Teknologi ini sangat menjanjikan karena menghasilkan energi bersih tanpa emisi karbon. Di sisi lain, elektrolisis air yang digerakkan oleh energi surya atau angin mendukung konsep *green hydrogen* sebagai bahan bakar masa depan (Zhang et al., 2022). Dengan demikian, sel elektrokimia menjadi pilar penting dalam transisi energi global menuju keberlanjutan.

E. Potensial Elektroda Standar

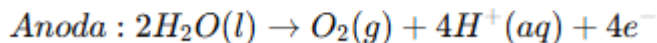
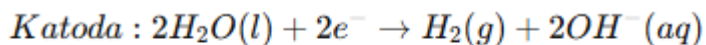
Sel elektrokimia merupakan sistem yang memanfaatkan reaksi reduksi-oksidasi untuk menghasilkan energi listrik atau sebaliknya menggunakan energi listrik untuk memicu reaksi kimia. Sel ini terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu **sel Galvani (sel volta)** dan **sel elektrolisis**. Sel Galvani menghasilkan arus listrik dari reaksi redoks spontan, sedangkan sel elektrolisis memerlukan arus listrik eksternal untuk menjalankan reaksi nonspontan (Atkins & de Paula, 2021). Perbedaan mendasar ini menjadikan keduanya penting dalam berbagai aplikasi, mulai dari baterai portabel hingga industri pemurnian logam.

Sel Galvani bekerja dengan memisahkan reaksi oksidasi dan reduksi dalam dua elektroda berbeda, lalu menghubungkannya melalui rangkaian listrik. Contoh klasik adalah **sel Daniell**, yang terdiri atas elektroda Zn dalam larutan ZnSO_4 dan elektroda Cu dalam larutan CuSO_4 , dihubungkan dengan jembatan garam. Reaksi yang terjadi adalah:

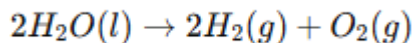


Reaksi ini berlangsung spontan sehingga menghasilkan energi listrik. Konsep potensial sel (E°_{sel}) dihitung dari selisih antara potensial reduksi katoda dan anoda, yang menjadi dasar perhitungan tegangan baterai (Housecroft & Sharpe, 2022).

Sebaliknya, **sel elektrolisis** menggunakan arus listrik eksternal untuk memaksa terjadinya reaksi redoks yang tidak spontan. Salah satu contoh penting adalah **elektrolisis air** yang menghasilkan gas hidrogen dan oksigen:



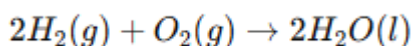
Secara Keseluruhan



Meskipun memerlukan energi listrik, proses ini sangat penting karena mendukung pengembangan hidrogen sebagai energi bersih masa depan (Wang et al., 2023).

Aplikasi sel elektrokimia sangat luas dalam kehidupan sehari-hari dan industri. Sel Galvani digunakan pada baterai primer (alkaline, Zn–C) maupun baterai sekunder (litium-ion, nikel-kadmium) yang dapat diisi ulang. Di sisi lain, sel elektrolisis menjadi kunci dalam proses electroplating untuk melapisi logam, pemurnian tembaga dalam metalurgi, hingga produksi aluminium melalui proses Hall–Héroult. Kedua jenis sel ini juga memiliki peran dalam menjaga keberlanjutan, misalnya pemanfaatan elektrolisis untuk pengolahan limbah dan penyediaan bahan bakar hidrogen (Smith et al., 2021).

Di era energi terbarukan, konsep sel elektrokimia menjadi semakin relevan. Sel bahan bakar hidrogen merupakan bentuk sel Galvani modern yang mengubah hidrogen dan oksigen menjadi energi listrik serta air sebagai produk samping:

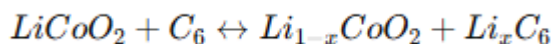


Teknologi ini dipandang sebagai solusi energi bersih dengan emisi karbon minimal. Sementara itu, **elektrolisis air berbasis energi surya dan angin** menjadi strategi penting dalam memproduksi *green hydrogen*. Dengan demikian, pemahaman tentang sel Galvani dan elektrolisis tidak hanya penting secara teoretis, tetapi juga fundamental bagi transisi energi global menuju keberlanjutan (Zhang et al., 2022).

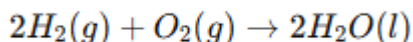
F. Aplikasi Redoks dan Elektrokimia

Reaksi redoks dan konsep elektrokimia memiliki aplikasi luas dalam berbagai bidang kehidupan. Prinsip dasar perpindahan elektron yang menjadi inti reaksi redoks dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi, mengolah bahan, hingga menjaga keberlanjutan lingkungan. Dalam dunia industri, prinsip ini mendasari teknologi penyimpanan energi seperti baterai, pemurnian logam, hingga pelapisan permukaan. Sementara dalam biologi dan ekologi, reaksi redoks menjelaskan mekanisme respirasi, fotosintesis, dan siklus biogeokimia. Oleh sebab itu, redoks dan elektrokimia bukan hanya materi akademik, melainkan juga fondasi inovasi teknologi masa depan (Atkins & de Paula, 2021).

Salah satu aplikasi paling nyata adalah pada baterai dan sel bahan bakar. Semua perangkat portabel modern—mulai dari ponsel, laptop, hingga kendaraan listrik—menggunakan prinsip sel Galvani untuk menyimpan dan melepaskan energi. Misalnya, baterai litium-ion memanfaatkan reaksi redoks reversibel pada elektroda berbasis litium, yang memungkinkan pengisian ulang berulang kali dengan efisiensi tinggi. Reaksinya secara umum:

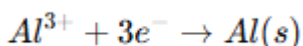


Di sisi lain, sel bahan bakar hidrogen bekerja dengan reaksi redoks antara hidrogen dan oksigen untuk menghasilkan listrik bersih:



Kedua teknologi ini kini menjadi fokus riset global dalam transisi menuju energi terbarukan (Zhang et al., 2022).

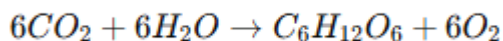
Di bidang **industri metalurgi**, elektrokimia berperan besar dalam ekstraksi dan pemurnian logam. Contoh klasik adalah proses Hall–Hérault untuk memproduksi aluminium dari alumina (Al_2O_3) melalui elektrolisis. Reaksinya di katoda:



Proses ini menghasilkan aluminium murni yang penting bagi industri transportasi dan konstruksi. Selain itu, elektrolisis juga digunakan dalam pemurnian tembaga, di mana Cu^{2+} direduksi pada katoda sehingga diperoleh tembaga dengan kemurnian tinggi untuk kabel listrik. Proses ini memastikan kualitas logam yang dihasilkan sekaligus meningkatkan efisiensi industri modern (Housecroft & Sharpe, 2022).

Reaksi redoks juga digunakan dalam **perlindungan logam** dari korosi. Korosi besi dapat dijelaskan sebagai oksidasi Fe menjadi Fe^{2+} di anoda, yang kemudian bereaksi dengan oksigen dan air membentuk karat. Salah satu solusi praktis adalah metode **perlindungan katodik**, di mana logam yang lebih reaktif seperti Zn dipasang sebagai anoda korban (*sacrificial anode*). Zn akan teroksidasi lebih dahulu, sehingga besi tetap terlindungi. Selain itu, teknologi pelapisan logam (*electroplating*) memanfaatkan elektrolisis untuk melapisi permukaan dengan logam lain, seperti pelapisan perhiasan emas atau perlindungan baja dengan krom (Smith et al., 2021).

Dalam bidang **lingkungan dan biologi**, konsep redoks sangat penting. Fotosintesis merupakan contoh reaksi redoks alami, di mana CO_2 direduksi menjadi glukosa dan air dioksidasi menjadi oksigen dengan bantuan energi cahaya. Reaksi dasarnya:



Sementara dalam respirasi sel, glukosa mengalami oksidasi menghasilkan energi dalam bentuk ATP. Aplikasi redoks juga terlihat pada pengolahan limbah, misalnya teknologi oksidasi lanjutan (*advanced oxidation process/AOPs*) untuk menghancurkan polutan organik berbahaya dalam air limbah. Teknologi ini memanfaatkan oksidator kuat seperti $OH^\bullet$ radikal untuk menguraikan senyawa beracun menjadi molekul sederhana yang ramah lingkungan (Wang et al., 2023).

Ke depan, pemanfaatan reaksi redoks dan elektrokimia semakin penting dalam mendukung **teknologi hijau**. Riset terkini menekankan pada pengembangan baterai generasi baru seperti baterai natrium-ion dan baterai aliran (*flow battery*), serta pemanfaatan elektrolisis air berbasis energi terbarukan untuk memproduksi *green hydrogen*. Selain itu, reaksi redoks juga dimanfaatkan dalam sensor elektrokimia yang digunakan dalam bidang medis, misalnya pada *glucose biosensor* untuk penderita diabetes. Semua ini menunjukkan bahwa aplikasi redoks dan elektrokimia tidak hanya terbatas pada industri klasik, tetapi juga berperan besar dalam inovasi teknologi kesehatan dan keberlanjutan global (Rahman & Kim, 2020).

G. Rangkuman

Bab ini membahas secara menyeluruh konsep **reaksi reduksi-oksidasi (redoks)** dan prinsip **elektrokimia** yang menjadi dasar berbagai fenomena kimia, biologi, dan teknologi modern. Redoks dijelaskan melalui dua sudut pandang: kehilangan dan penerimaan elektron, serta perubahan bilangan oksidasi. Pemahaman ini diperdalam dengan aturan penentuan **bilangan oksidasi** yang memungkinkan identifikasi atom mana yang mengalami

oksidasi maupun reduksi, serta digunakan dalam metode penyetaraan reaksi redoks, baik melalui **metode bilangan oksidasi** maupun **metode setengah reaksi**.

Pembahasan dilanjutkan pada **sel elektrokimia**, yang terbagi menjadi sel Galvani (volta) dan sel elektrolisis. Sel Galvani bekerja berdasarkan reaksi redoks spontan untuk menghasilkan listrik, sementara sel elektrolisis menggunakan energi listrik eksternal untuk memicu reaksi nonspontan. Prinsip ini menjadi dasar bagi baterai, sel bahan bakar, proses elektrolisis air, electroplating, dan pemurnian logam.

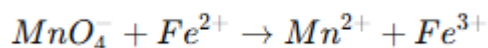
Selain itu, bab ini juga menyoroti **hukum Faraday tentang elektrolisis** yang menghubungkan jumlah zat yang dihasilkan pada elektroda dengan jumlah muatan listrik yang dialirkan. Prinsip ini memberikan dasar kuantitatif dalam memahami proses elektrokimia industri.

Akhirnya, aplikasi reaksi redoks dan elektrokimia terbukti sangat luas, mulai dari **penyimpanan energi** (baterai litium, sel hidrogen), **industri metalurgi** (pemurnian tembaga, produksi aluminium), **perlindungan logam dari korosi** (anoda korban, pelapisan logam), hingga **lingkungan dan biologi** (fotosintesis, respirasi, pengolahan limbah). Semua ini menunjukkan bahwa redoks dan elektrokimia tidak hanya penting dalam ranah teoretis, tetapi juga sangat relevan dalam menjawab tantangan energi bersih, keberlanjutan, dan inovasi teknologi di masa depan.

H. Latihan

Soal

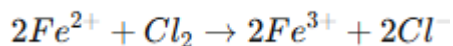
1. Jelaskan perbedaan konsep oksidasi dan reduksi berdasarkan **transfer elektron** serta **perubahan bilangan oksidasi**, sertakan contoh reaksi sederhana!
2. Tentukan bilangan oksidasi masing-masing unsur dalam senyawa berikut:
 - a) H_2SO_4
 - b) KMnO_4
 - c) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
3. Seimbangkan reaksi redoks berikut dengan menggunakan **metode setengah reaksi** dalam suasana asam:



4. Jelaskan prinsip kerja **sel Galvani** dengan menggunakan contoh sel Daniell, sertakan reaksi anoda, katoda, dan reaksi totalnya!
5. Sebutkan **tiga aplikasi reaksi redoks dan elektrokimia** dalam kehidupan sehari-hari atau industri, lalu jelaskan manfaat praktisnya!

Jawaban

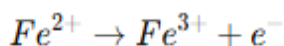
1. Oksidasi adalah proses kehilangan elektron atau kenaikan bilangan oksidasi, sedangkan reduksi adalah proses penerimaan elektron atau penurunan bilangan oksidasi.
Contoh:



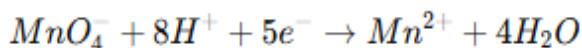
2. a) H_2SO_4 : $H = +1$, $O = -2$, $S = +6$.
b) $KMnO_4$: $K = +1$, $O = -2$, $Mn = +7$.
c) $Cr_2O_7^{2-}$: $O = -2$, total = $-2 \rightarrow Cr = +6$.

3. Setengah reaksi:

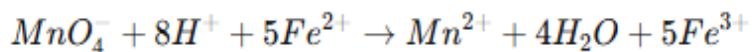
- Oksidasi:



- Reduksi:

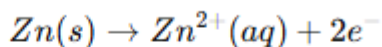


Gabungan:

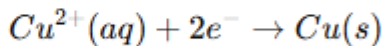


4. Sel Daniell:

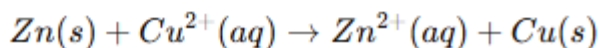
- Anoda (oksidasi):



- Katoda (reduksi):



- Reaksi total:



Prinsipnya: reaksi redoks spontan menghasilkan arus listrik.

5. Aplikasi redoks dan elektrokimia:

- Baterai litium-ion: menyimpan energi listrik untuk ponsel/laptop.
- Electroplating: melapisi logam dengan krom/nickel untuk mencegah korosi.
- Pemurnian logam (Cu, Al): menghasilkan logam murni untuk kabel atau industri.

BAB VIII

KOLOID

Koloid merupakan salah satu sistem dispersi yang memiliki karakteristik unik karena berada di antara larutan sejati dan suspensi. Topik ini penting dipahami karena banyak fenomena alam dan aplikasi industri yang berbasis pada sifat koloid, mulai dari makanan, obat, hingga material modern. Bab ini akan membahas konsep dasar koloid, jenis-jenisnya, sifat-sifat karakteristik, serta penerapan praktisnya dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam bidang teknologi dan industri.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan konsep dan karakteristik koloid, termasuk posisi koloid di antara larutan sejati dan suspensi.
- Mengidentifikasi jenis-jenis sistem koloid berdasarkan fase terdispersi dan medium pendispersi.
- Menganalisis sifat-sifat khas koloid (efek Tyndall, adsorpsi, gerak Brown, muatan koloid, dan elektrokinetik).
- Menjelaskan metode pembuatan koloid melalui kondensasi, dispersi, dan peptisasi, beserta contoh aplikasinya dalam industri dan laboratorium.
- Mengevaluasi peranan koloid dalam kehidupan, mencakup bidang pangan, farmasi, lingkungan, energi, dan fenomena alam.

A. Konsep dan Karakteristik Koloid

Koloid adalah sistem dispersi di mana partikel terdispersi berukuran antara 1–1000 nanometer, sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang namun cukup besar untuk menyebabkan efek tertentu, seperti efek Tyndall. Posisi koloid berada di antara larutan sejati, yang partikel terlarutnya sangat kecil, dan suspensi, yang partikel terdispersinya dapat mengendap karena ukurannya besar. Pemahaman konsep koloid menjadi kunci dalam menjelaskan fenomena sehari-hari seperti susu, kabut, dan mayones yang merupakan sistem koloid alami maupun buatan.

Salah satu karakteristik utama koloid adalah kestabilannya. Partikel koloid tidak mudah mengendap karena adanya muatan listrik pada permukaannya, yang menimbulkan gaya tolak-menolak antarpartikel sehingga sistem tetap stabil. Teori elektrostatik menjelaskan bahwa lapisan ganda ion di sekitar partikel koloid menjaga kestabilan ini. Selain itu, keberadaan zat pendispersi dan cara pembentukan koloid turut menentukan kestabilannya, misalnya melalui metode kondensasi atau dispersi. Studi modern menekankan bahwa kestabilan koloid juga sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti pH dan suhu (Zhou et al., 2022).

Sifat khas lain dari koloid adalah efek optiknya, seperti efek Tyndall, yaitu penyebaran cahaya oleh partikel koloid. Fenomena ini membedakan koloid dari larutan sejati yang tidak menimbulkan efek serupa. Selain itu, koloid juga menunjukkan gerak Brown, yaitu gerakan acak partikel koloid akibat tumbukan dengan molekul medium pendispersi. Gerak Brown ini memberikan bukti eksperimental tentang keberadaan partikel kecil yang terus bergerak, yang mendukung teori kinetik molekul. Penelitian terbaru bahkan

memanfaatkan gerak Brown dalam bidang nanoteknologi untuk merancang sensor dan sistem pengiriman obat (Li & Zhang, 2021).

Jenis koloid dapat diklasifikasikan berdasarkan fase terdispersi dan medium pendispersinya, misalnya sol padat, sol cair, emulsi, buih, dan aerosol. Contohnya, kabut adalah aerosol cair, busa sabun adalah buih, sementara susu merupakan emulsi lemak dalam air. Klasifikasi ini membantu memahami keragaman koloid dalam kehidupan sehari-hari maupun industri. Studi dalam bidang pangan dan farmasi, misalnya, menunjukkan bahwa pengendalian sifat koloid berperan penting dalam tekstur, rasa, dan stabilitas produk (Wang et al., 2023).

Koloid juga memiliki sifat elektrokinetik, seperti elektroforesis dan elektroosmosis. Elektroforesis adalah pergerakan partikel koloid ketika dikenai medan listrik, sedangkan elektroosmosis adalah pergerakan medium pendispersi melalui membran berpori akibat medan listrik. Fenomena ini tidak hanya penting untuk memahami sifat dasar koloid, tetapi juga digunakan dalam aplikasi industri seperti pemurnian protein, pengolahan limbah, dan rekayasa material canggih. Misalnya, teknik elektroforesis modern digunakan dalam bioteknologi untuk memisahkan biomolekul berdasarkan ukuran dan muatan.

Implikasi praktis dari pemahaman konsep koloid sangat luas. Dalam industri makanan, stabilitas koloid menentukan daya simpan dan kualitas produk seperti mayones, susu, dan es krim. Dalam farmasi, sistem koloid digunakan sebagai penghantar obat agar bioavailabilitas lebih tinggi. Dalam teknologi, koloid diaplikasikan pada cat, tinta, hingga nanomaterial. Bahkan, pemurnian air dan udara memanfaatkan prinsip koloid untuk mengendapkan partikel-partikel kecil berbahaya. Dengan demikian, studi tentang koloid tidak hanya

bersifat teoritis, tetapi juga aplikatif dalam meningkatkan kualitas hidup manusia.

B. Jenis-Jenis Sistem Koloid

Sistem koloid dapat diklasifikasikan berdasarkan kombinasi fase terdispersi dan medium pendispersinya. Partikel terdispersi yang berukuran antara 1–1000 nm dapat berupa padat, cair, maupun gas, sedangkan medium pendispersi juga dapat berupa padat, cair, atau gas. Perbedaan kombinasi ini menghasilkan berbagai jenis koloid, yang masing-masing memiliki sifat dan aplikasi berbeda. Pengelompokan semacam ini penting untuk memudahkan analisis fenomena sehari-hari, seperti terbentuknya kabut di atmosfer, susu sebagai emulsi, atau gel dalam industri makanan dan farmasi.

Jenis pertama adalah **aerosol**, yang terdiri dari partikel padat atau cair terdispersi dalam medium gas. Contoh aerosol padat adalah asap, sementara aerosol cair adalah kabut. Aerosol memiliki peran penting dalam lingkungan karena memengaruhi kualitas udara dan iklim, serta berhubungan dengan kesehatan manusia. Kajian terbaru dalam bidang atmosfer menunjukkan bahwa aerosol dapat menjadi inti kondensasi awan dan berpengaruh terhadap radiasi matahari (Zhang et al., 2021). Aplikasi praktis aerosol juga ditemukan dalam produk rumah tangga seperti parfum semprot dan obat inhalasi.

Jenis kedua adalah **sol**, yaitu partikel padat terdispersi dalam medium cair. Contoh sol adalah tinta, cat, dan larutan emas koloid. Sol memiliki sifat optik khas, salah satunya efek Tyndall, serta sering dimanfaatkan dalam bidang kimia material dan nanoteknologi. Misalnya, sol emas digunakan dalam pengembangan biosensor karena stabilitasnya yang tinggi. Studi terbaru menyoroti penggunaan sol

logam mulia dalam katalisis heterogen, yang dapat meningkatkan efisiensi reaksi kimia sekaligus ramah lingkungan (Kumar & Singh, 2022). Keunikan sol terletak pada kemampuannya mempertahankan dispersi partikel dalam jangka waktu lama, sehingga aplikasinya sangat luas.

Jenis ketiga adalah **emulsi**, yaitu sistem koloid yang terdiri atas dua cairan yang saling tidak bercampur, seperti minyak dan air. Contoh umum emulsi adalah susu dan mayones. Stabilitas emulsi biasanya dijaga dengan adanya zat pengemulsi, seperti lesitin dalam kuning telur. Dalam industri makanan dan farmasi, emulsi sangat penting untuk menentukan tekstur, rasa, dan daya simpan produk. Penelitian terbaru juga menggarisbawahi pemanfaatan nanoemulsi untuk penghantaran obat karena ukuran partikelnya yang kecil memungkinkan absorpsi lebih efektif dalam tubuh (Rahman et al., 2023). Dengan demikian, emulsi tidak hanya fenomena sehari-hari, tetapi juga instrumen penting dalam teknologi modern.

Jenis berikutnya adalah **buih (foam)**, yang terbentuk ketika gas terdispersi dalam medium cair atau padat. Contoh buih cair adalah busa sabun, sementara buih padat terlihat pada roti dan spons. Buih memiliki peranan besar dalam industri pangan, misalnya pada pembuatan kue, minuman berkarbonasi, hingga es krim. Selain itu, busa juga digunakan dalam pemadaman kebakaran karena kemampuannya menutup permukaan dan mencegah kontak oksigen. Studi ilmiah terkini menekankan bahwa stabilitas busa sangat dipengaruhi oleh surfaktan yang menurunkan tegangan permukaan cairan (Liu et al., 2021). Pemahaman ini penting untuk mengontrol kualitas produk berbuih.

Jenis terakhir adalah **gel**, yaitu sistem padat atau setengah padat yang terbentuk dari partikel koloid terdispersi dalam medium cair, tetapi membentuk struktur tiga dimensi sehingga bersifat elastis. Contoh gel adalah agar-agar, jelly, dan gel rambut. Gel banyak digunakan dalam bidang farmasi, kosmetik, serta biomedis. Dalam penelitian mutakhir, gel polimer telah dikembangkan sebagai bahan pembawa obat untuk terapi jangka panjang, karena kemampuannya melepaskan zat aktif secara terkendali (Patel et al., 2022). Dengan sifat mekanis dan kimia yang unik, gel dianggap sebagai salah satu sistem koloid paling serbaguna.

Secara praktis, pemahaman mengenai jenis-jenis koloid membantu menjelaskan fenomena alam maupun inovasi teknologi. Misalnya, kabut dan awan sebagai aerosol berperan dalam siklus hidrologi, sementara emulsi dan gel menjadi fondasi utama dalam produk pangan dan farmasi. Dalam konteks industri, pemanfaatan koloid mendukung inovasi berkelanjutan melalui pengembangan material ramah lingkungan dan teknologi penghantaran obat yang lebih efektif. Oleh karena itu, klasifikasi sistem koloid bukan sekadar konsep akademik, melainkan dasar aplikatif bagi berbagai bidang kehidupan modern.

C. Sifat-Sifat Koloid (Efek Tyndall, Adsorpsi, dll.)

Sistem koloid memiliki sejumlah sifat khas yang membedakannya dari larutan sejati maupun suspensi. Sifat-sifat ini muncul karena ukuran partikel koloid yang berada dalam skala nanometer, sehingga cukup kecil untuk tidak mengendap tetapi cukup besar untuk menimbulkan interaksi optik, listrik, dan kimia tertentu. Pemahaman sifat-sifat koloid menjadi penting, baik dalam aspek teoritis untuk menjelaskan perilaku materi, maupun aspek praktis

dalam bidang lingkungan, pangan, farmasi, dan teknologi. Beberapa sifat utama koloid antara lain efek Tyndall, adsorpsi, gerak Brown, muatan koloid, dan sifat elektrokinetik.

Salah satu sifat optik paling menonjol adalah **efek Tyndall**, yaitu penyebaran cahaya oleh partikel koloid ketika cahaya melewati medium. Fenomena ini pertama kali diamati oleh John Tyndall, yang menjelaskan mengapa sinar matahari tampak menembus kabut atau mengapa cahaya proyektor terlihat jelas dalam ruangan berdebu. Efek Tyndall tidak terjadi pada larutan sejati karena ukuran partikel terlalu kecil untuk menyebarkan cahaya. Studi modern menegaskan bahwa pengukuran intensitas efek Tyndall dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi dan ukuran partikel nano dalam sistem koloid (Zhang & Wang, 2021). Hal ini menjadikan efek Tyndall tidak hanya sebagai fenomena visual, tetapi juga metode analisis ilmiah.

Sifat penting lainnya adalah **adsorpsi**, yaitu kemampuan partikel koloid menyerap ion atau molekul pada permukaannya. Adsorpsi ini menjelaskan mengapa partikel koloid sering bermuatan listrik, karena ion-ion tertentu dari medium melekat pada permukaan partikel. Akibatnya, partikel koloid memperoleh muatan seragam yang menyebabkan gaya tolak-menolak antarpartikel, sehingga sistem tetap stabil. Dalam aplikasi praktis, sifat adsorpsi dimanfaatkan dalam proses penjernihan air, di mana partikel koloid dapat menyerap zat warna atau logam berat berbahaya. Penelitian terbaru bahkan menyoroti penggunaan material koloid berbasis karbon untuk menyerap polutan organik dan anorganik secara lebih efisien (Chen et al., 2022).

Selain itu, koloid menunjukkan **gerak Brown**, yaitu gerakan acak partikel koloid akibat tumbukan terus-menerus dengan molekul

medium pendispersi. Gerak Brown menjadi bukti eksperimental penting bagi teori kinetik molekul, karena menunjukkan bahwa molekul zat cair atau gas selalu bergerak secara acak. Dalam riset mutakhir, gerak Brown dimanfaatkan untuk mempelajari dinamika nanopartikel dan mendukung desain sistem pengiriman obat berbasis nanokapsul (Lee et al., 2023). Dengan demikian, fenomena ini tidak hanya memiliki nilai historis, tetapi juga relevan dalam penelitian ilmiah kontemporer.

Sifat berikutnya adalah **muatan koloid**. Setiap partikel koloid biasanya membawa muatan positif atau negatif yang seragam, tergantung pada jenis zat dan medium pendispersinya. Muatan ini dapat diuji melalui fenomena **koagulasi**, yaitu penggumpalan koloid akibat penambahan elektrolit yang menetralkan muatan partikel. Contoh nyata adalah proses penggumpalan lateks atau pembuatan tahu dari protein kedelai. Studi dalam bidang lingkungan juga menunjukkan bahwa pemahaman tentang koagulasi koloid sangat penting dalam pengolahan limbah cair untuk mengendapkan partikel-partikel berbahaya (Rahimi et al., 2021).

Koloid juga memiliki sifat **elektrokinetik**, yang mencakup elektroforesis dan elektroosmosis. Elektroforesis adalah pergerakan partikel koloid bermuatan dalam medan listrik, sedangkan elektroosmosis adalah pergerakan medium pendispersi akibat medan listrik. Fenomena ini menjadi dasar bagi berbagai teknik laboratorium modern, seperti elektroforesis gel untuk pemisahan DNA atau protein. Dalam bioteknologi, teknik ini sangat penting untuk menganalisis molekul biologis. Penelitian terkini bahkan mengembangkan metode elektroforesis mikrofluida berbasis koloid untuk diagnosis medis cepat dan akurat (Patil & Singh, 2022). Dengan demikian, sifat

elektrokinetik menunjukkan hubungan erat antara ilmu dasar koloid dan teknologi modern.

Secara keseluruhan, sifat-sifat koloid bukan sekadar ciri fisik semata, tetapi juga membuka peluang luas untuk aplikasi praktis. Efek Tyndall mendukung teknik analisis partikel nano, adsorpsi menjadi basis teknologi penyaringan, gerak Brown memberikan pemahaman dinamika molekul, muatan koloid relevan dalam industri pangan dan lingkungan, sedangkan elektroforesis dan elektroosmosis menopang kemajuan bioteknologi. Dengan memahami sifat-sifat ini, pembaca dapat menghubungkan teori kimia koloid dengan berbagai aspek kehidupan sehari-hari maupun perkembangan industri dan riset mutakhir.

Table 18 Sifat-Sifat Koloid dan Contoh Aplikasinya

Sifat Koloid	Deskripsi	Contoh Aplikasi
Efek Tyndall	Penyebaran cahaya oleh partikel koloid ketika cahaya melewati medium	Analisis partikel nano, deteksi protein dalam biologi, sinar lampu tampak di kabut
Adsorpsi	Penyerapan ion/molekul pada permukaan partikel koloid	Penjernihan air (penyerap zat warna/logam berat), karbon aktif untuk polutan
Gerak Brown	Gerakan acak partikel koloid akibat tumbukan molekul medium	Studi dinamika nanopartikel, sistem penghantaran obat berbasis nanokapsul
Muatan Koloid	Partikel bermuatan seragam (positif/negatif) yang menjaga kestabilan	Pembuatan tahu (koagulasi protein), pengolahan limbah cair,

Sifat Koloid	Deskripsi	Contoh Aplikasi
	sistem	lateks
Elektroforesis	Pergerakan partikel koloid bermuatan dalam medan listrik	Pemisahan DNA/protein dalam bioteknologi, analisis medis cepat
Elektroosmosis	Pergerakan medium pendispersi akibat medan listrik	Proses filtrasi industri, teknologi pemurnian air, mikrofluida untuk diagnosis

D. Pembuatan Koloid

Pembuatan koloid merupakan aspek penting dalam kimia karena banyak sistem koloid tidak terbentuk secara alami, melainkan harus disintesis atau diproses secara khusus. Secara umum, pembuatan koloid dapat dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu metode kondensasi dan metode dispersi. Metode kondensasi dilakukan dengan memperbesar ukuran partikel dari larutan sejati hingga mencapai ukuran koloid, sedangkan metode dispersi dilakukan dengan memperkecil ukuran partikel kasar hingga berada pada rentang koloid. Pemahaman kedua metode ini memungkinkan penerapan dalam berbagai bidang, mulai dari pangan, farmasi, hingga teknologi material modern.

Metode kondensasi banyak digunakan untuk menghasilkan koloid dari reaksi kimia. Contohnya adalah reaksi hidrolisis, oksidasi, atau reduksi yang membentuk partikel dengan ukuran koloid. Misalnya, sol belerang dapat diperoleh dari reaksi antara gas H_2S dengan larutan SO_2 . Demikian pula, sol emas dapat dihasilkan dari reduksi garam emas menggunakan zat pereduksi tertentu. Penelitian terbaru

menunjukkan bahwa metode kondensasi sangat relevan dalam sintesis nanopartikel logam, yang kini banyak digunakan untuk katalisis, sensor, dan material fungsional (Patel et al., 2021). Dengan demikian, metode kondensasi bukan hanya fenomena laboratorium klasik, melainkan teknik modern dalam nanoteknologi.

Sebaliknya, metode dispersi dilakukan dengan memecah partikel kasar menjadi ukuran koloid. Cara ini dapat dilakukan melalui mekanik (penggilingan ultrasonik, homogenisasi bertekanan tinggi), elektrik (busur Bredig), maupun fisik-kimia lain. Misalnya, pembuatan sol logam dapat dilakukan dengan metode busur Bredig, yaitu melewatkan arus listrik melalui elektroda logam yang terendam dalam medium pendispersi, sehingga logam terdispersi dalam ukuran nano. Teknologi ultrasonik modern juga banyak dipakai untuk menghasilkan emulsi dan nanoemulsi yang stabil dalam industri pangan dan farmasi (Nguyen et al., 2022). Keunggulan metode dispersi adalah kemampuannya menghasilkan partikel dengan ukuran seragam dan stabilitas tinggi.

Selain kedua metode utama tersebut, terdapat pula metode khusus yang menggabungkan prinsip kondensasi dan dispersi. Contohnya adalah peptisasi, yaitu proses memecah endapan menjadi partikel koloid dengan menambahkan zat tertentu yang disebut *peptizing agent*. Contoh klasiknya adalah pembuatan sol $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dari endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dengan penambahan sedikit FeCl_3 . Proses peptisasi sangat penting dalam industri cat dan tinta, karena memungkinkan partikel padat tetap terdispersi homogen dalam medium cair. Studi terkini menggarisbawahi bahwa teknik peptisasi dapat dimodifikasi untuk menghasilkan suspensi nanopartikel stabil yang digunakan pada biomedis (Rao et al., 2023).

Dari sudut pandang praktis, metode pembuatan koloid memiliki implikasi luas. Dalam industri pangan, pembuatan emulsi dan buih memerlukan teknik dispersi yang tepat agar produk memiliki tekstur dan rasa yang baik. Dalam bidang farmasi, pembuatan nanoemulsi dan nanogel meningkatkan efektivitas penghantaran obat. Di bidang lingkungan, pembuatan sol khusus digunakan untuk teknologi penyerap polutan. Bahkan, dalam teknologi energi, metode sintesis koloid dimanfaatkan untuk pembuatan material fotokatalis dan baterai generasi baru (Li et al., 2024). Dengan demikian, topik ini tidak hanya bernilai teoritis, tetapi juga aplikatif bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Table 19 Proses Pembuatan Koloid

Metode	Prinsip Proses	Langkah Utama	Contoh Hasil Koloid	Aplikasi
Kondensasi	Menggabungkan molekul kecil → partikel koloid (1–1000 nm)	- Melakukan reaksi kimia (hidrolisis, oksidasi, reduksi) - Mengatur kondisi pH, suhu, dan konsentrasi	Sol belerang ($\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2$) Sol emas (AuCl_3 direduksi)	Sintesis nanopartikel, katalis, sensor
Dispersi	Memecah partikel besar → partikel berukuran koloid	- Penggilingan mekanik/ultrasonik - Homogenisasi bertekanan tinggi - Metode busur Bredig (arus listrik pada elektroda logam)	Sol logam (Ag, Au, Pt) Nanoemulsi minyak-air	Industri cat, pangan (mayones, susu), farmasi
Peptisasi	Memecah endapan menjadi partikel koloid dengan <i>peptizing agent</i>	- Menambahkan sedikit elektrolit yang sesuai - Endapan berubah menjadi dispersi koloid stabil	Sol $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dari endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dengan FeCl_3	Industri cat, tinta, material biomedis
Metode	Kombinasi	- Menggunakan	Emulsi	Farmasi

Metode	Prinsip Proses	Langkah Utama	Contoh Hasil Koloid	Aplikasi
Khusus	kondensasi & dispersi untuk stabilitas tertentu	surfaktan/emulgator - Mengatur rasio fase terdispersi & medium pendispersi	(susu, lotion) Gel (agar-agar, jelly)	(nanoemulsi obat), pangan, kosmetik

E. Peranan Koloid dalam Kehidupan

Sistem koloid memiliki peranan yang sangat luas dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam dunia industri. Keunikan sifat koloid, seperti efek Tyndall, adsorpsi, muatan partikel, dan kestabilan dispersi, menjadikannya relevan dalam bidang pangan, kesehatan, lingkungan, serta teknologi modern. Memahami peranan koloid tidak hanya memperlihatkan sisi teoritis ilmu kimia, tetapi juga aplikasinya yang langsung menyentuh kualitas hidup manusia. Oleh sebab itu, kajian koloid menjadi salah satu fondasi penting dalam pengembangan produk dan inovasi berbasis material nano.

Dalam bidang **pangan**, koloid berperan penting dalam pembentukan tekstur, cita rasa, dan daya simpan produk. Susu merupakan contoh emulsi alami lemak dalam air yang stabil karena adanya protein sebagai pengemulsi. Mayones dan margarin juga dibuat melalui sistem emulsi dengan tambahan emulsifier agar lebih stabil. Industri minuman memanfaatkan buih untuk menciptakan sensasi segar, seperti pada minuman berkarbonasi. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa stabilitas emulsi nano dalam industri makanan dapat meningkatkan kualitas nutrisi serta memperpanjang umur simpan produk tanpa bahan pengawet berbahaya (Wang et al., 2023).

Dalam bidang **farmasi dan kesehatan**, sistem koloid dimanfaatkan sebagai penghantar obat (*drug delivery system*). Nanopartikel koloid seperti liposom dan nanoemulsi memungkinkan zat aktif lebih mudah menembus membran sel, sehingga efektivitas obat meningkat. Gel juga banyak digunakan dalam pembuatan salep, krim, dan obat topikal. Studi kontemporer menyoroti penggunaan nanogel koloid untuk terapi kanker, karena mampu mengantarkan obat secara terkontrol dan menurunkan efek samping (Patel et al., 2022).

Bidang **lingkungan** juga tidak terlepas dari peranan koloid. Adsorpsi pada partikel koloid digunakan untuk menyerap polutan berbahaya, baik logam berat maupun zat organik beracun. Metode koagulasi-flokulasi yang berbasis prinsip koloid menjadi teknik utama dalam pengolahan limbah cair. Penelitian terbaru mengungkapkan bahwa material koloid berbasis karbon, seperti graphene oxide, sangat efektif dalam menyerap polutan sehingga mendukung program keberlanjutan lingkungan (Chen et al., 2022).

Sementara itu, dalam **teknologi material dan energi**, koloid digunakan dalam cat, tinta, kosmetik, hingga pembuatan baterai litium, sel surya, dan fotokatalis. Nanopartikel koloid perovskite, misalnya, menjadi kandidat material baru untuk sel surya generasi berikutnya karena efisiensi konversi energinya yang tinggi (Li et al., 2024).

Bahkan fenomena alam sehari-hari juga merupakan manifestasi dari sistem koloid. Awan dan kabut adalah aerosol cair, sedangkan asap dan debu adalah aerosol padat yang berpengaruh terhadap iklim serta kesehatan manusia. Pemahaman ilmiah terhadap koloid atmosferik membantu dalam memprediksi perubahan iklim serta mitigasi polusi udara (Zhang et al., 2021).

F. Analisis Laboratorium Koloid

Analisis laboratorium terhadap sistem koloid diperlukan untuk mempelajari sifat-sifat khasnya secara ilmiah, seperti efek optik, gerak partikel, muatan, dan stabilitas. Metode analisis ini tidak hanya bermanfaat dalam pembelajaran kimia dasar, tetapi juga penting dalam penelitian pangan, farmasi, dan nanoteknologi. Beberapa teknik yang sering digunakan meliputi pengamatan efek Tyndall, pengukuran mobilitas elektroforesis, analisis adsorpsi, serta perhitungan ukuran partikel dengan persamaan fisika tertentu. Dengan bantuan metode laboratorium ini, karakteristik koloid dapat dipahami lebih terukur dan aplikatif.

Salah satu teknik sederhana adalah **pengamatan efek Tyndall**, di mana cahaya dilewatkan melalui sistem koloid untuk melihat penyebaran berkas cahaya. Intensitas penyebaran cahaya dapat dianalisis secara kuantitatif dengan hukum Rayleigh, yang secara umum dinyatakan sebagai:

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

dengan I = intensitas cahaya tersebar dan λ = panjang gelombang cahaya. Persamaan ini menunjukkan bahwa cahaya dengan panjang gelombang pendek (biru) lebih mudah disebarkan daripada cahaya dengan panjang gelombang panjang (merah). Analisis ini banyak digunakan dalam penelitian nanopartikel untuk menentukan distribusi ukuran partikel (Zhang & Wang, 2021).

Metode berikutnya adalah **analisis gerak Brown**, yang dapat diamati dengan mikroskop ultra. Gerak acak partikel koloid akibat

tumbukan molekul medium pendispersi dijelaskan dengan persamaan Einstein untuk koefisien difusi partikel:

$$D = \frac{RT}{N_A \cdot 6\pi\eta r}$$

dengan D = koefisien difusi partikel, R = konstanta gas, T = suhu mutlak, N_A = bilangan Avogadro, η = viskositas medium, dan r = jari-jari partikel. Dari persamaan ini, ukuran rata-rata partikel koloid dapat diperkirakan dengan teknik yang dikenal sebagai *Dynamic Light Scattering* (DLS). Studi mutakhir menegaskan bahwa pendekatan ini penting dalam mengkarakterisasi nanogel dan liposom dalam penelitian farmasi (Lee et al., 2023).

Selain itu, muatan koloid dapat dianalisis dengan teknik elektroforesis. Partikel koloid bermuatan akan bergerak dalam medan listrik dengan kecepatan tertentu. Hubungan ini dijelaskan melalui persamaan mobilitas elektroforesis:

$$\mu = \frac{v}{E}$$

dengan μ = mobilitas elektroforesis, v = kecepatan partikel, dan E = kuat medan listrik. Dari nilai mobilitas ini, dapat dihitung *zeta potential* (ζ), yang menjadi indikator kestabilan koloid:

$$\zeta = \frac{4\pi\eta\mu}{\epsilon}$$

dengan ϵ = permitivitas medium. Zeta potential yang besar (positif atau negatif) menunjukkan sistem koloid lebih stabil karena partikel saling tolak-menolak. Kajian terbaru menekankan bahwa pengukuran *zeta potential* sangat penting dalam mendesain formulasi nanoemulsi obat dan kosmetik (Patel et al., 2022).

Metode lain adalah analisis adsorpsi, yaitu mengukur kemampuan partikel koloid dalam menyerap zat terlarut di permukaannya. Fenomena ini dijelaskan dengan *isoterm Langmuir*:

$$q = \frac{q_{max} \cdot K \cdot C}{1 + K \cdot C}$$

dengan q = jumlah zat teradsorpsi per gram adsorben, q_{max} = kapasitas adsorpsi maksimum, K = konstanta kesetimbangan, dan C = konsentrasi zat terlarut. Persamaan ini banyak digunakan dalam penelitian lingkungan untuk menganalisis kemampuan material koloid, seperti karbon aktif atau graphene oxide, dalam menyerap logam berat dari air limbah (Chen et al., 2022).

Secara keseluruhan, analisis laboratorium koloid memanfaatkan berbagai pendekatan optik, kinetik, listrik, dan kimia. Pengamatan efek Tyndall menjelaskan interaksi cahaya, persamaan Einstein mendukung analisis gerak Brown, perhitungan zeta potential menjadi indikator kestabilan, dan isoterm Langmuir menggambarkan interaksi permukaan partikel. Keseluruhan metode ini bukan hanya untuk mendalami aspek teoritis, tetapi juga menjadi basis dalam inovasi teknologi pangan, farmasi, lingkungan, dan material energi modern.

Dengan demikian, laboratorium koloid menjadi jembatan penting antara konsep dasar kimia dan penerapannya dalam kehidupan nyata.

G. Rangkuman

Bab ini membahas konsep dasar dan aplikasi sistem koloid, yaitu dispersi partikel berukuran 1–1000 nm yang memiliki sifat unik di antara larutan sejati dan suspensi. Konsep dan karakteristik koloid menunjukkan pentingnya kestabilan partikel, yang dijaga oleh muatan permukaan dan lapisan ganda ion. Jenis-jenis sistem koloid diklasifikasikan berdasarkan fase terdispersi dan medium pendispersi, mencakup aerosol, sol, emulsi, buih, dan gel, yang banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari.

Sifat-sifat koloid, seperti efek Tyndall, adsorpsi, gerak Brown, muatan koloid, serta fenomena elektrokinetik, menjadikannya berbeda dari sistem lain dan mendukung berbagai aplikasi praktis. Proses pembuatan koloid dapat dilakukan melalui metode kondensasi, dispersi, maupun peptisasi, yang secara ilmiah menjelaskan bagaimana partikel koloid dihasilkan untuk kebutuhan industri maupun penelitian.

Peranan koloid sangat luas, mulai dari pangan, farmasi, dan lingkungan hingga teknologi material dan energi. Susu dan mayones merupakan contoh emulsi, nanogel digunakan dalam terapi medis, sedangkan adsorpsi partikel koloid dimanfaatkan dalam penjernihan air dan pengendalian polusi. Dalam teknologi modern, nanopartikel koloid menjadi kunci dalam pengembangan baterai, sel surya, dan fotokatalis.

Analisis laboratorium koloid memperkuat pemahaman ini melalui pengamatan efek Tyndall, perhitungan gerak Brown dengan

persamaan Einstein, penentuan *zeta potential* untuk kestabilan, serta isoterm Langmuir untuk adsorpsi. Dengan metode tersebut, sifat-sifat koloid dapat dipelajari secara kuantitatif dan aplikatif.

Dengan demikian, pembahasan koloid dalam bab ini memperlihatkan integrasi antara teori kimia dasar, fenomena alam, hingga pemanfaatannya dalam kehidupan modern. Pemahaman koloid tidak hanya penting bagi ilmu pengetahuan, tetapi juga menjadi fondasi inovasi di berbagai bidang yang mendukung kualitas hidup manusia.

H. Latihan

Soal

1. Jelaskan perbedaan mendasar antara larutan sejati, koloid, dan suspensi dengan menekankan ukuran partikel, kestabilan, serta sifat optiknya!
2. Sebutkan dan jelaskan lima jenis sistem koloid berdasarkan fase terdispersi dan medium pendispersinya, serta berikan minimal satu contoh nyata dari setiap jenis!
3. Analisislah bagaimana sifat khas koloid seperti efek Tyndall, adsorpsi, dan muatan partikel dimanfaatkan dalam bidang lingkungan, khususnya pada penjernihan air limbah!
4. Uraikan metode pembuatan koloid melalui kondensasi, dispersi, dan peptisasi. Sertakan contoh reaksi kimia atau aplikasi praktis dari masing-masing metode!
5. Sebuah sistem koloid diuji di laboratorium menggunakan metode elektroforesis. Jelaskan prinsip kerja metode ini, rumus

mobilitas elektroforesis yang digunakan, serta bagaimana hasil pengukuran dapat menunjukkan kestabilan koloid!

Jawaban

1. Perbedaan Larutan Sejati, Koloid, dan Suspensi

- **Larutan sejati:** ukuran partikel < 1 nm, homogen, tidak dapat disaring, tidak menimbulkan efek Tyndall (contoh: larutan gula).
- **Koloid:** ukuran partikel 1–1000 nm, tampak homogen tetapi sebenarnya heterogen, stabil, menunjukkan efek Tyndall, partikel tidak mengendap (contoh: susu, kabut).
- **Suspensi:** ukuran partikel > 1000 nm, heterogen, mudah mengendap, dapat disaring, tidak stabil (contoh: pasir dalam air).

2. Jenis-Jenis Sistem Koloid

- **Aerosol padat:** partikel padat dalam gas (contoh: asap).
- **Aerosol cair:** partikel cair dalam gas (contoh: kabut).
- **Sol:** partikel padat dalam cairan (contoh: tinta, cat).
- **Emulsi:** dua cairan tidak saling larut (contoh: susu, mayones).
- **Buih (foam):** gas dalam cair/padat (contoh: busa sabun, roti).
- **Gel:** cairan terperangkap dalam jaringan padat (contoh: agar-agar, jelly).

3. Sifat Koloid dalam Penjernihan Air

- **Efek Tyndall** tidak langsung digunakan, tetapi menunjukkan keberadaan koloid dalam air keruh.

- **Adsorpsi:** partikel koloid menyerap ion/partikel pengotor di permukaannya.
- **Muatan partikel:** dalam penjernihan air, ditambahkan koagulan (misal: tawas, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) untuk menetralkan muatan partikel sehingga terjadi koagulasi dan kotoran mengendap.
- Proses ini merupakan penerapan praktis prinsip koloid dalam teknologi lingkungan.

4. Metode Pembuatan Koloid

- **Kondensasi:** memperbesar partikel dari molekul $\rightarrow$ koloid. Contoh: sol belerang dari reaksi $\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2$.
- **Dispersi:** memperkecil partikel kasar $\rightarrow$ koloid. Contoh: metode busur Bredig untuk sol logam.
- **Peptisasi:** mengubah endapan menjadi koloid dengan *peptizing agent*. Contoh: sol $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dari endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dengan penambahan sedikit FeCl_3 .

5. Prinsip Elektroforesis dan Kestabilan Koloid

- Elektroforesis: pergerakan partikel koloid bermuatan dalam medan listrik.

Rumus mobilitas elektroforesis:

$$\mu = \frac{v}{E}$$

dengan μ = mobilitas, v = kecepatan partikel, E = kuat medan listrik.

Dari nilai mobilitas, dapat dihitung zeta potential:

$$\zeta = \frac{4\pi\eta\mu}{\varepsilon}$$

Semakin besar nilai ζ (positif/negatif), semakin stabil sistem koloid karena partikel saling tolak-menolak.

- Aplikasi: analisis kestabilan nanoemulsi dalam farmasi dan pangan.

BAB IX

KIMIA UNSUR

Bab ini membahas karakteristik kimia unsur berdasarkan golongan dalam tabel periodik, mulai dari sifat fisika, tren periodik, hingga aplikasinya dalam kehidupan. Kajian diawali dengan unsur golongan alkali sebagai kelompok logam paling reaktif, kemudian dilanjutkan dengan golongan lain yang memiliki peranan penting dalam industri, biologi, dan teknologi.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan sifat fisika dan kimia unsur golongan alkali (IA) serta kaitannya dengan tren periodik dan aplikasinya.
- Menganalisis perbedaan sifat alkali tanah (IIA) dengan alkali, serta peranan senyawa-senyawa pentingnya dalam kehidupan.
- Mendeskripsikan variasi sifat oksida unsur periode III dari basa hingga asam, beserta implikasinya dalam industri dan biologi.
- Menguraikan karakteristik unsur transisi, termasuk bilangan oksidasi, senyawa berwarna, dan aplikasinya dalam katalis maupun sistem biologis.
- Mengidentifikasi sifat inert gas mulia dan menjelaskan penggunaannya dalam teknologi, kesehatan, dan industri modern.

A. Unsur Golongan Alkali

Unsur golongan alkali menempati kelompok IA dalam tabel periodik, mencakup litium (Li), natrium (Na), kalium (K), rubidium (Rb), sesium (Cs), dan fransium (Fr). Mereka dikenal sangat reaktif, khususnya terhadap air dan oksigen, sehingga jarang ditemukan dalam bentuk unsur bebas di alam. Reaktivitas tinggi tersebut terkait dengan konfigurasi elektron terluar yang hanya memiliki satu elektron pada orbital s, membuatnya mudah dilepas untuk mencapai kestabilan. Posisi mereka dalam tabel periodik juga menjelaskan tren sifat kimia dan fisika yang teratur dari atas ke bawah. Pemahaman terhadap sifat golongan alkali penting karena aplikasinya meluas dalam industri, biologi, dan teknologi energi.

Secara fisik, unsur golongan alkali memiliki karakteristik khas seperti titik leleh dan titik didih yang relatif rendah, logam lunak, serta konduktivitas listrik tinggi. Kerapatan mereka juga relatif rendah, bahkan litium, natrium, dan kalium memiliki massa jenis lebih kecil daripada air sehingga dapat mengapung. Tren periodik menunjukkan bahwa semakin ke bawah golongan, jari-jari atom meningkat, sedangkan energi ionisasi menurun. Hal ini menjelaskan mengapa reaktivitas meningkat dari litium hingga sesium. Data eksperimen terbaru juga menunjukkan bahwa perilaku termodinamika alkali sangat relevan dalam penelitian material maju, misalnya pada baterai ion litium yang banyak digunakan dalam kendaraan listrik.

Dari sisi kimia, golongan alkali memiliki kecenderungan kuat membentuk senyawa ionik dengan halogen maupun oksigen. Reaksinya dengan air menghasilkan hidroksida alkali yang bersifat sangat basa serta gas hidrogen yang mudah terbakar. Senyawa natrium hidroksida dan kalium hidroksida merupakan contoh penting yang

digunakan dalam industri kimia dasar, sabun, hingga produksi kertas. Sementara itu, garam-garam seperti natrium klorida dan kalium nitrat memiliki peran vital dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam bidang medis dan pangan. Perbandingan antara berbagai senyawa alkali juga menjadi dasar dalam kajian kimia anorganik modern.

Secara biologis, unsur alkali memiliki fungsi penting dalam sistem kehidupan. Natrium dan kalium misalnya, berperan besar dalam menjaga keseimbangan ionik serta transmisi impuls saraf dalam tubuh manusia. Ketidakseimbangan konsentrasi ion dapat menyebabkan gangguan kesehatan serius, seperti hipertensi atau aritmia jantung. Temuan riset terbaru juga menekankan peran ion litium dalam bidang psikiatri, khususnya sebagai obat stabilisasi mood untuk pasien bipolar. Di sisi lain, kalium banyak digunakan dalam pupuk pertanian karena perannya dalam metabolisme tanaman, menunjukkan keterkaitan erat antara sifat kimia unsur ini dengan keberlanjutan sektor pangan global.

Dalam bidang teknologi dan energi, logam alkali memainkan peranan kunci. Litium menjadi bahan utama baterai isi ulang dengan kepadatan energi tinggi, sedangkan natrium kini mulai diteliti sebagai alternatif lebih murah dalam teknologi baterai natrium-ion. Tren penelitian lima tahun terakhir memperlihatkan bahwa pengembangan material berbasis alkali dapat mendukung transisi energi bersih dan dekarbonisasi. Namun, sifat reaktif tinggi juga menimbulkan tantangan dalam hal keamanan penyimpanan maupun transportasi, sehingga regulasi dan standar keselamatan internasional diperlukan untuk mengurangi risiko kecelakaan.

Secara praktis, pemahaman tentang unsur golongan alkali memiliki implikasi luas mulai dari industri, kesehatan, hingga isu

keberlanjutan energi. Kecenderungan reaktivitas tinggi dapat dimanfaatkan secara produktif, namun tetap membutuhkan pengelolaan risiko yang cermat. Dalam konteks pembelajaran, subbab ini menjadi dasar untuk memahami bagaimana tren periodik bekerja sekaligus bagaimana sains terapan memanfaatkan sifat alami unsur. Dengan demikian, kajian alkali tidak hanya menegaskan hubungan teori dengan praktik, tetapi juga membuka perspektif baru tentang inovasi material masa depan.

Table 20 Proses Pembuatan Koloid

Unsur	Nomor Atom	Jari-jari Atom (pm)	Energi Ionisasi I (kJ/mol)	Titik Leleh (°C)	Massa Jenis (g/cm ³)
Li	3	152	520	180,5	0,53
Na	11	186	496	97,8	0,97
K	19	227	419	63,5	0,86
Rb	37	248	403	39,3	1,53
Cs	55	265	376	28,4	1,90
Fr*	87	~270	~380	~27	~2,48

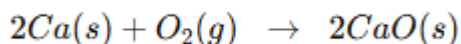
B. Unsur Golongan Alkali Tanah

Unsur golongan alkali tanah menempati **golongan IIA** pada tabel periodik, mencakup berilium (Be), magnesium (Mg), kalsium (Ca), stronsium (Sr), barium (Ba), dan radium (Ra). Nama “alkali tanah” berasal dari sifat senyawanya yang bersifat basa dan sering ditemukan dalam bentuk mineral tanah. Mereka memiliki dua elektron pada kulit terluar (konfigurasi ns^2), sehingga cenderung melepaskan dua elektron tersebut untuk membentuk ion bermuatan +2. Sifat ini membuat alkali

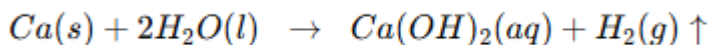
tanah lebih stabil dibanding alkali, meskipun reaktivitasnya tetap tinggi terutama pada unsur-unsur yang lebih berat.

Dari sisi **sifat fisika**, logam alkali tanah memiliki kerapatan lebih tinggi dan lebih keras dibanding logam alkali. Titik leleh dan titik didih mereka juga umumnya lebih tinggi. Misalnya, kalsium memiliki titik leleh 842 °C, jauh di atas natrium (97 °C). Tren periodik menunjukkan bahwa jari-jari atom meningkat dari Be ke Ra, sementara energi ionisasi menurun. Hal ini mengakibatkan reaktivitas meningkat ke bawah golongan, sehingga barium dan radium lebih mudah bereaksi dibanding berilium. Be sendiri bersifat unik karena cenderung membentuk ikatan kovalen, bukan ionik murni, akibat ukuran atomnya yang kecil dan gaya polarisasi tinggi.

Secara **kimia**, alkali tanah membentuk senyawa oksida, hidroksida, dan garam yang memiliki peranan penting. Oksidanya bersifat basa:



Hidroksida golongan ini bersifat basa kuat, contohnya $Ca(OH)_2$ yang dikenal sebagai kapur sirih. Reaksi umum dengan air dapat ditulis:



Namun, tidak semua anggota mudah bereaksi dengan air, Be dan Mg cenderung pasif karena lapisan oksidanya yang protektif. Di sisi lain, garam karbonat ($CaCO_3$, $MgCO_3$) dan sulfat ($BaSO_4$) menunjukkan kestabilan tinggi dan aplikasi luas dalam industri.

Dalam **biologi**, unsur alkali tanah berperan penting dalam metabolisme dan kesehatan manusia. Kalsium adalah komponen utama tulang dan gigi, serta berfungsi dalam kontraksi otot, transmisi sinyal saraf, dan pembekuan darah. Magnesium menjadi kofaktor lebih dari 300 enzim, berperan dalam metabolisme energi, sintesis protein, dan kestabilan DNA. Kekurangan Mg dapat menyebabkan kelelahan, gangguan irama jantung, hingga depresi. Sementara itu, stronsium dan barium tidak memiliki peran biologis penting, bahkan dapat bersifat toksik jika dalam dosis tinggi. Radium, karena radioaktif, memiliki risiko kesehatan yang besar meski pernah digunakan dalam pengobatan kanker.

Dalam **aplikasi teknologi dan industri**, alkali tanah digunakan secara luas. Magnesium dipakai dalam paduan logam ringan untuk industri otomotif dan kedirgantaraan. Kalsium karbonat menjadi bahan utama semen, kapur bangunan, dan industri kertas. Stronsium digunakan dalam kembang api merah cerah dan bahan magnet. Barium sulfat berperan penting dalam bidang medis sebagai kontras radiologi. Perkembangan terbaru juga menyoroti peran magnesium dalam teknologi baterai sebagai alternatif litium, karena lebih melimpah dan berbiaya rendah. Tren riset lima tahun terakhir menunjukkan bahwa baterai magnesium-ion menjanjikan kepadatan energi tinggi dengan risiko keamanan lebih rendah.

Table 21 Tren Sifat Fisika-Kimia Unsur Golongan Alkali Tanah

Unsur	Nomor Atom	Jari-jari Atom (pm)	Energi Ionisasi I (kJ/mol)	Titik Leleh (°C)	Massa Jenis (g/cm ³)
Be	4	112	900	1287	1,85
Mg	12	160	738	650	1,74

Unsur	Nomor Atom	Jari-jari Atom (pm)	Energi Ionisasi I (kJ/mol)	Titik Leleh (°C)	Massa Jenis (g/cm ³)
Ca	20	197	590	842	1,54
Sr	38	215	549	777	2,64
Ba	56	222	503	727	3,62
Ra*	88	~230	~509	~700	~5,50

C. Unsur Periode III

Unsur periode III terdiri atas delapan unsur yang berderet dari natrium (Na, Z=11) hingga argon (Ar, Z=18). Barisan ini menarik karena menunjukkan perkembangan sifat kimia dan fisika yang jelas dari kiri ke kanan dalam tabel periodik. Dari logam reaktif (Na, Mg), melalui unsur semi-logam (Si), hingga nonlogam aktif (P, S, Cl), dan akhirnya gas mulia (Ar), periode III menjadi contoh konkret bagaimana hukum periodik menjelaskan keteraturan sifat unsur. Unsur-unsur ini juga sangat penting karena banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari garam dapur, pupuk, bahan kaca, hingga gas inert dalam industri.

Secara **sifat fisika**, tren periode III menunjukkan bahwa jari-jari atom cenderung menurun dari kiri ke kanan akibat peningkatan muatan inti efektif. Energi ionisasi meningkat, sehingga kecenderungan melepas elektron berkurang, dan elektronegativitas bertambah. Hal ini menyebabkan perubahan sifat dari logam (Na, Mg, Al) ke nonlogam (P, S, Cl), dengan silikon berada di tengah sebagai metaloid. Titik leleh juga bervariasi: Na dan Mg relatif rendah, Al lebih tinggi karena ikatan logam yang kuat, Si mencapai titik leleh

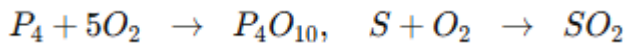
sangat tinggi akibat struktur kovalen raksasa, sementara S, P, Cl, dan Ar rendah karena ikatan molekul lemah.

Secara **kimia**, tiap unsur memiliki ciri khas:

- Natrium dan magnesium membentuk oksida basa:



- Aluminium membentuk oksida amfoter (Al_2O_3) yang bisa bersifat asam maupun basa.
- Silikon membentuk oksida kovalen SiO_2 yang bersifat asam lemah dan stabil.
- Fosfor dan belerang membentuk berbagai oksida asam:



- Klorin bereaksi membentuk HCl dan oksida klorin.
- Argon bersifat inert, hampir tidak membentuk senyawa.

Perbandingan sifat oksida ini menunjukkan transisi jelas dari oksida basa ke oksida asam sepanjang periode.

Dalam kehidupan sehari-hari dan biologi, unsur periode III sangat vital. Natrium berperan dalam keseimbangan ionik tubuh, magnesium dalam metabolisme enzimatik, dan aluminium banyak digunakan sebagai bahan industri. Silikon menjadi bahan utama semikonduktor dan teknologi digital modern. Fosfor penting untuk DNA, ATP, dan pupuk pertanian. Belerang digunakan dalam industri karet, pupuk, dan

obat-obatan. Klorin berperan dalam disinfektan air, meski harus hati-hati karena toksisitasnya. Argon, meskipun inert, banyak digunakan dalam lampu pijar, pengelasan, dan atmosfer pelindung dalam riset ilmiah.

Table 22 Sifat Fisika-Kimia Unsur Periode III

Unsur	Nomor Atom	Jari-jari Atom (pm)	Energi Ionisasi I (kJ/mol)	Titik Leleh (°C)	Karakter Oksida
Na	11	186	496	97,8	Basa
Mg	12	160	738	650	Basa
Al	13	143	578	660	Amfoter
Si	14	118	787	1410	Asam lemah
P	15	110	1012	44,2	Asam
S	16	104	1000	115	Asam
Cl	17	99	1251	-101	Asam
Ar	18	71	1521	-189	Inert

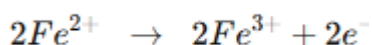
D. Unsur Transisi

Unsur transisi adalah unsur-unsur yang menempati **blok d** dalam tabel periodik, dimulai dari golongan 3 hingga 12. Ciri khas mereka adalah adanya pengisian orbital d yang tidak penuh, baik pada keadaan atom netral maupun ion. Keberadaan elektron d inilah yang memberikan sifat unik berupa warna senyawa yang khas, berbagai tingkat oksidasi, serta kemampuan membentuk kompleks koordinasi. Unsur transisi juga dikenal sebagai logam keras dengan titik leleh tinggi, konduktivitas listrik baik, serta sering digunakan dalam industri

berat. Beberapa contoh penting adalah besi (Fe), tembaga (Cu), nikel (Ni), kromium (Cr), dan seng (Zn).

Secara **sifat fisika**, unsur transisi umumnya memiliki kerapatan tinggi, kekuatan mekanis besar, serta titik leleh dan didih yang tinggi. Misalnya, tungsten (W) memiliki titik leleh tertinggi di antara semua logam (3.422 °C), sehingga banyak digunakan pada filamen lampu pijar dan industri khusus. Logam transisi juga memiliki kemampuan magnetik, terutama besi, kobalt, dan nikel yang dikenal sebagai logam feromagnetik. Tren periodik menunjukkan bahwa ukuran atom relatif stabil di dalam satu periode karena efek d-block contraction, berbeda dengan logam utama yang jari-jarinya menyusut drastis dari kiri ke kanan.

Dari sisi **sifat kimia**, unsur transisi menampilkan **beragam bilangan oksidasi**. Misalnya, mangan dapat memiliki bilangan oksidasi mulai dari +2 hingga +7, sementara besi stabil dalam bentuk +2 dan +3. Perbedaan bilangan oksidasi ini memungkinkan mereka terlibat dalam reaksi redoks kompleks. Contoh reaksi:



Selain itu, senyawa transisi sering berwarna akibat transisi elektron dalam orbital d. Sebagai contoh, larutan ion Cu^{2+} berwarna biru, sedangkan ion $Cr_2O_7^{2-}$ berwarna oranye. Kemampuan membentuk kompleks juga khas, misalnya ion $[Fe(CN)_6]^{3-}$ atau $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ yang menunjukkan koordinasi dengan ligan.

Dalam kehidupan sehari-hari dan industri, unsur transisi memiliki peran vital. Besi digunakan dalam baja, material konstruksi terpenting di dunia. Tembaga banyak dipakai dalam kabel listrik karena

konduktivitas tinggi. Kromium digunakan untuk pelapisan logam agar tahan karat, sedangkan titanium diaplikasikan dalam paduan ringan untuk industri kedirgantaraan. Platinum dan paladium berperan besar dalam katalis otomotif untuk mengurangi polusi gas buang. Dalam bidang biologi, unsur transisi seperti Fe dalam hemoglobin, Co dalam vitamin B₁₂, dan Cu dalam enzim oksidase menunjukkan betapa pentingnya logam transisi dalam fungsi kehidupan.

Table 23 Contoh Sifat Fisika dan Kimia Unsur Transisi Terpilih

Unsur	Nomor Atom	Bilangan Oksidasi Umum	Warna Senyawa	Titik Leleh (°C)	Aplikasi Utama
Fe	26	+2, +3	Hijau, coklat	1538	Baja, hemoglobin
Cu	29	+1, +2	Biru, hijau	1085	Kabel listrik, pipa
Cr	24	+3, +6	Hijau, oranye	1907	Pelapis logam, pigmen
Ni	28	+2, +3	Hijau	1455	Paduan logam, baterai
Zn	30	+2	Putih	419	Galvanisasi, enzim
Pt	78	+2, +4	Tidak khas	1768	Katalis, perhiasan

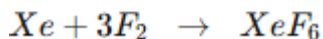
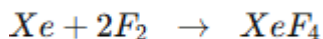
E. Gas Mulia

Unsur gas mulia menempati **golongan VIIIA (18)** pada tabel periodik, meliputi helium (He), neon (Ne), argon (Ar), kripton (Kr), xenon (Xe), dan radon (Rn). Mereka dikenal dengan sifat inert atau

tidak reaktif karena konfigurasi elektron terluarnya sudah penuh (ns^2np^6 , kecuali helium ns^2). Kestabilan konfigurasi ini menjadikan gas mulia sulit membentuk senyawa, sehingga dalam waktu lama mereka dianggap benar-benar “iner” atau tidak bereaksi. Namun, penelitian modern menemukan bahwa xenon dan kripton dapat membentuk beberapa senyawa dalam kondisi ekstrem, sehingga menambah wawasan baru tentang kimia unsur.

Secara **sifat fisika**, gas mulia memiliki titik leleh dan titik didih yang sangat rendah karena hanya berinteraksi dengan gaya dispersi London yang lemah. Helium bahkan tetap berbentuk cair hingga hampir nol absolut ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$) pada tekanan atmosfer. Semua gas mulia tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa, menjadikannya sulit dideteksi kecuali melalui spektroskopi. Massa jenis meningkat seiring bertambahnya nomor atom, sehingga radon merupakan gas mulia terberat. Tren periodik juga menunjukkan bahwa polarizabilitas meningkat dari He ke Rn, sehingga reaktivitas relatif bertambah ke bawah golongan.

Secara **sifat kimia**, gas mulia hampir tidak bereaksi. Namun, sejak penemuan pada tahun 1962, xenon diketahui dapat membentuk senyawa dengan fluorin dan oksigen, misalnya:



Senyawa ini stabil pada kondisi tertentu dan digunakan dalam kimia anorganik lanjutan. Kripton juga dapat membentuk senyawa seperti KrF_2 , sementara radon membentuk senyawa sederhana

meskipun jarang dipelajari karena radioaktivitas tinggi. Penemuan ini menegaskan bahwa meski inert, gas mulia tetap memiliki potensi reaktivitas dalam kondisi ekstrem.

Dalam **kehidupan sehari-hari dan industri**, gas mulia memiliki banyak aplikasi. Helium digunakan dalam balon udara, pendinginan superkonduktor, dan sebagai gas pelindung dalam pengelasan. Neon digunakan dalam lampu neon yang menghasilkan cahaya merah-oranye khas. Argon, yang melimpah di atmosfer, digunakan sebagai atmosfer inert dalam pengelasan dan pembuatan lampu pijar. Krypton dan xenon digunakan dalam lampu kilat fotografi, lampu sorot, dan aplikasi laser. Radon, meskipun radioaktif, pernah digunakan dalam terapi kanker namun kini lebih diperhatikan sebagai bahaya lingkungan karena bersifat karsinogenik.

Table 24 Sifat Fisika dan Kimia Gas Mulia

Unsur	Nomor Atom	Konfigurasi Elektron	Titik Didih (°C)	Massa Jenis (g/L)	Aplikasi Utama
He	2	$1s^2$	-269	0,178	Balon, kriogenik
Ne	10	$[\text{He}]2s^22p^6$	-246	0,900	Lampu neon
Ar	18	$[\text{Ne}]3s^23p^6$	-186	1,784	Lampu pijar, atmosfer inert
Kr	36	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^6$	-152	3,740	Lampu kilat, laser
Xe	54	$[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^6$	-108	5,890	Lampu sorot, senyawa XeF_2
Rn*	86	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^6$	-62	9,730	Terapi medis (terbatas), radioaktif

Kajian gas mulia menunjukkan bahwa keteraturan periodik tidak hanya membentuk pola sifat kimia, tetapi juga memberi manfaat luas dalam teknologi modern. Meskipun terkenal inert, keberadaan gas mulia penting dalam kehidupan: dari lampu penerangan, pendinginan superkonduktor, hingga aplikasi medis dan teknologi laser. Penemuan senyawa xenon dan kripton juga mengingatkan bahwa bahkan unsur yang dianggap stabil sekalipun masih menyimpan potensi reaktivitas dalam kondisi tertentu. Hal ini menegaskan bahwa kimia unsur adalah bidang yang selalu berkembang, dengan temuan baru yang memperluas wawasan ilmiah dan aplikasinya.

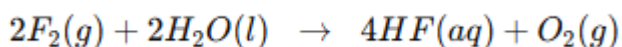
F. Halogen

Unsur halogen menempati **golongan VIIA (17)** dalam tabel periodik, terdiri atas fluor (F), klorin (Cl), brom (Br), iodin (I), dan astatin (At). Nama *halogen* berarti “pembentuk garam”, karena unsur-unsur ini sangat mudah bereaksi dengan logam untuk membentuk senyawa ionik seperti natrium klorida (NaCl). Ciri khas halogen adalah memiliki tujuh elektron valensi (ns^2np^5), sehingga hanya memerlukan satu elektron tambahan untuk mencapai kestabilan konfigurasi gas mulia. Sifat ini menjadikan halogen sangat reaktif, dengan fluor sebagai yang paling reaktif dan astatin sebagai yang paling jarang ditemui karena radioaktif.

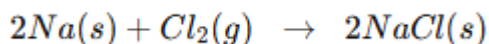
Secara **sifat fisika**, halogen memperlihatkan tren yang jelas dari atas ke bawah golongan. Fluorin dan klorin berbentuk gas pada suhu kamar, brom cair berwarna merah kecokelatan, iodin padat berwarna ungu kehitaman, dan astatin berupa padatan logamoid yang jarang dijumpai. Titik didih dan massa jenis meningkat ke bawah golongan karena gaya antar molekul semakin kuat. Warna khas halogen juga semakin pekat dari atas ke bawah akibat perubahan transisi elektron.

Halogen juga memiliki energi ionisasi tinggi, dengan kecenderungan menurun ke bawah golongan, sehingga reaktivitas nonlogam berkurang dari F ke I.

Dari sisi **sifat kimia**, halogen merupakan oksidator kuat. Fluorin adalah oksidator terkuat di tabel periodik, bahkan dapat mengoksidasi air:



Halogen bereaksi cepat dengan logam alkali membentuk garam halida:



Mereka juga membentuk senyawa hidrogen halida (HF, HCl, HBr, HI) yang larut dalam air menjadi asam kuat, kecuali HF yang bersifat unik karena membentuk ikatan hidrogen kuat. Halogen dapat pula membentuk senyawa interhalogen, misalnya ClF₃ dan ICl, yang berguna sebagai reagen kimia.

Dalam **kehidupan sehari-hari dan industri**, halogen memiliki fungsi luas. Klorin digunakan untuk disinfektan air dan bahan dasar industri PVC (polivinil klorida). Brom digunakan dalam zat aditif anti-api dan fotografi. Iodin penting dalam kesehatan, khususnya dalam produksi hormon tiroid, sehingga kekurangannya dapat menyebabkan gondok. Fluorin digunakan dalam pasta gigi untuk mencegah gigi berlubang, serta dalam industri refrigeran dan Teflon (PTFE). Di sisi lain, sifat toksik halogen juga menimbulkan risiko lingkungan dan kesehatan, sehingga penggunaannya diawasi ketat.

Table 25 Sifat Fisika-Kimia Unsur Halogen

Unsur	Nomor Atom	Wujud pada 25 °C	Warna	Titik Didih (°C)	Elektronegativitas (Pauling)	Aplikasi Utama
F	9	Gas	Kuning pucat	-188	3,98	Teflon, refrigeran
Cl	17	Gas	Hijau kekuningan	-34	3,16	Disinfektan, PVC
Br	35	Cair	Merah kecokelatan	59	2,96	Zat aditif anti-api
I	53	Padat	Ungu kehitaman	184	2,66	Obat tiroid, antiseptik
At*	85	Padat (radioaktif)	Tidak jelas	~337	~2,2	Penelitian medis (terbatas)

Data IUPAC (2022) dan literatur kimia anorganik modern.

Halogen menunjukkan contoh nyata bagaimana tren periodik berhubungan langsung dengan kehidupan. Dari pasta gigi hingga disinfektan, dari plastik hingga obat-obatan, halogen menjadi unsur vital dalam berbagai bidang. Namun, sifat reaktif dan toksiknya menuntut pengelolaan hati-hati agar tidak menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan. Kajian halogen sekaligus menegaskan bahwa kimia unsur tidak hanya penting dalam teori, tetapi juga dalam aspek regulasi dan keberlanjutan pemanfaatannya di masa depan.

G. Rangkuman

Bab ini membahas berbagai kelompok unsur dalam tabel periodik beserta sifat, tren periodik, serta aplikasinya. Unsur golongan alkali (IA) ditandai dengan satu elektron valensi, sangat reaktif terhadap air, dan berperan besar dalam industri serta biologi (contoh: baterai litium, peran natrium dan kalium dalam tubuh). Unsur alkali tanah (IIA) lebih keras,

memiliki dua elektron valensi, dan penting dalam kesehatan (kalsium, magnesium) serta industri (semen, paduan logam).

Unsur periode III memperlihatkan transisi jelas dari logam hingga gas mulia, sekaligus menggambarkan tren periodik seperti menurunnya jari-jari atom, meningkatnya energi ionisasi, dan perubahan sifat oksida dari basa ke asam. Unsur transisi (blok d) memiliki ciri khas bilangan oksidasi variatif, senyawa berwarna, serta peran vital dalam katalis, industri baja, elektronika, dan biologi (Fe, Cu, Co).

Unsur gas mulia (golongan 18) dikenal inert dengan konfigurasi elektron stabil, meskipun xenon dan kripton mampu membentuk senyawa tertentu. Mereka banyak digunakan sebagai atmosfer pelindung, lampu, dan aplikasi kriogenik. Halogen (golongan 17) sangat reaktif dengan kecenderungan membentuk garam, berfungsi luas dalam desinfektan, obat-obatan, plastik, dan industri kimia, meskipun perlu pengawasan karena sifat toksiknya.

H. Latihan

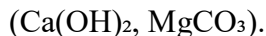
Soal

1. Jelaskan mengapa reaktivitas logam alkali (IA) meningkat dari litium hingga sesium, sertakan penjelasan berdasarkan tren periodik!
2. Bandingkan sifat fisika dan kimia antara unsur alkali tanah (IIA) dan alkali (IA). Berikan contoh senyawa penting dari masing-masing golongan serta aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.

3. Unsur periode III menunjukkan variasi sifat oksida dari basa hingga asam. Uraikan perubahan sifat tersebut dari Na hingga Cl, dan jelaskan faktor penyebab perbedaan karakter oksida!
4. Unsur transisi dikenal memiliki bilangan oksidasi variatif dan senyawa berwarna. Jelaskan kaitan konfigurasi elektron dengan fenomena tersebut, serta sebutkan contoh aplikasinya dalam industri atau biologi.
5. Halogen dan gas mulia memiliki perbedaan besar dalam reaktivitas kimia. Bandingkan sifat kedua golongan tersebut, lalu analisis bagaimana hal tersebut memengaruhi penggunaannya dalam industri, kesehatan, dan teknologi.

Jawaban

1. Reaktivitas meningkat dari Li ke Cs karena jari-jari atom makin besar, energi ionisasi menurun, sehingga elektron valensi lebih mudah dilepaskan.
2. Alkali (IA): lunak, titik leleh rendah, 1 elektron valensi, sangat reaktif (NaOH, KOH). Alkali tanah (IIA): lebih keras, titik leleh lebih tinggi, 2 elektron valensi, reaktivitas lebih rendah



Aplikasi: NaCl, baterai Li, pupuk KNO_3 ; CaCO_3 untuk semen, Mg untuk paduan logam, Ca untuk tulang.

3. Na_2O , MgO (basa); Al_2O_3 (amfoter); SiO_2 (asam lemah); P_4O_{10} , SO_2 , SO_3 , Cl_2O_7 (asam). Perbedaan disebabkan perubahan

ikatan dari ionik (logam) ke kovalen (nonlogam).

4. Unsur transisi memiliki orbital d $\rightarrow$ bilangan oksidasi bervariasi (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} – Mn^{7+}). Transisi elektron d $\rightarrow$ senyawa berwarna (Cu^{2+} biru, Cr^{3+} hijau). Aplikasi: katalis (Pt, Pd), pigmen cat, Fe dalam hemoglobin.
5. Halogen: reaktif, elektronegativitas tinggi, oksidator kuat, membentuk garam/ asam (Cl_2 disinfektan, F pasta gigi, I obat tiroid). Gas mulia: inert, stabil, hampir tidak bereaksi (He balon, Ar atmosfer inert, Ne/Xe lampu).

BAB X

KIMIA INTI DAN RADIOKIMIA

Kimia inti dan radiokimia merupakan cabang kimia yang mempelajari struktur inti atom, sifat-sifat radioaktif, serta interaksi antara radiasi dengan materi. Topik ini penting karena berkaitan langsung dengan pemahaman fundamental tentang energi inti, stabilitas atom, hingga penerapannya dalam bidang kesehatan, industri, dan energi.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan struktur inti atom beserta peran proton, neutron, energi ikatan, dan model inti (liquid drop dan shell model).
- Menganalisis fenomena radioaktivitas dan jenis peluruhan (alfa, beta, gamma, electron capture).
- Membedakan reaksi inti fisi dan fusi, termasuk mekanisme, energi yang dihasilkan, tantangan teknologi, serta implikasi penggunaannya.
- Mengidentifikasi berbagai radioisotop alami maupun buatan serta menjelaskan manfaatnya di bidang kesehatan, industri, pertanian, dan lingkungan.
- Mengevaluasi dampak radiasi terhadap kehidupan manusia, tumbuhan, hewan, dan ekosistem serta memahami prinsip proteksi radiasi.

A. Struktur Inti Atom

Struktur inti atom merupakan dasar dalam memahami kimia inti. Inti atom tersusun dari proton dan neutron yang dikenal sebagai *nukleon*. Keduanya dipersatukan oleh gaya inti kuat (*strong nuclear force*) yang lebih dominan dibandingkan gaya tolak-menolak elektromagnetik antar proton. Sejak penemuan Rutherford mengenai inti atom pada 1911, teori struktur inti berkembang pesat hingga melahirkan model kuantum modern yang menjelaskan stabilitas serta energi ikatan inti. Kajian ini penting karena kestabilan inti menentukan apakah suatu isotop bersifat stabil atau radioaktif (Krane, 2021).

Berbagai model telah digunakan untuk menjelaskan struktur inti. Model tetesan cair (*liquid drop model*) menggambarkan inti seperti tetesan cairan yang memiliki energi permukaan dan volume. Model ini berhasil menjelaskan fenomena fisi nuklir, tetapi kurang akurat untuk menjelaskan detail tingkat energi inti. Sebagai pelengkap, model cangkang inti (*nuclear shell model*) dikembangkan, yang menekankan bahwa nukleon menempati tingkat energi tertentu mirip dengan elektron dalam atom. Kombinasi kedua model ini memberikan pemahaman lebih lengkap tentang stabilitas inti, termasuk konsep bilangan ajaib (*magic numbers*) seperti 2, 8, 20, 28, 50, 82, dan 126 (Greiner, 2020).

Energi ikatan inti menjadi parameter kunci dalam menilai kestabilan atom. Energi ikatan inti per nukleon dapat dihitung dengan menggunakan defek massa, yaitu selisih antara massa inti dengan jumlah massa proton dan neutron penyusunnya. Rumus dasar energi ikatan inti adalah:

$$E_b = \Delta m \times c^2$$

dengan E_b adalah energi ikatan inti, Δm defek massa, dan c kecepatan cahaya. Kurva energi ikatan inti per nukleon menunjukkan bahwa inti dengan nomor massa menengah (seperti Fe-56) memiliki kestabilan paling tinggi. Hal ini menjelaskan mengapa reaksi fusi terjadi pada inti ringan sedangkan fisi terjadi pada inti berat (Kraft, 2022).

Selain faktor energi ikatan, rasio proton-neutron juga memengaruhi kestabilan inti. Isotop dengan rasio neutron yang terlalu tinggi atau terlalu rendah cenderung mengalami peluruhan radioaktif untuk mencapai kestabilan. Misalnya, inti ringan cenderung stabil jika jumlah proton hampir sama dengan neutron, sedangkan inti berat memerlukan lebih banyak neutron untuk mengurangi gaya tolak-menolak antar proton. Hukum peluruhan radioaktif, termasuk peluruhan alfa, beta, dan gamma, sangat dipengaruhi oleh konfigurasi inti dan energi ikatannya (Zhou & Li, 2023).

Pemahaman tentang struktur inti tidak hanya penting dalam kajian teoritis, tetapi juga memiliki aplikasi luas. Dalam bidang medis, isotop radioaktif dimanfaatkan untuk diagnosis dan terapi kanker. Di bidang energi, pemahaman ini menjadi dasar pengembangan reaktor nuklir dan teknologi fusi yang diharapkan sebagai sumber energi masa depan. Bahkan dalam bidang lingkungan, analisis isotop digunakan untuk melacak polusi dan mempelajari perubahan iklim. Dengan demikian, kajian struktur inti atom bukan hanya soal teori fisika, melainkan juga berkontribusi nyata terhadap keberlanjutan teknologi dan kehidupan manusia (Kim & Park, 2021).

Table 26 Ringkasan Konsep Struktur Inti Atom

Aspek	Penjelasan	Catatan Penting
Komponen Inti Atom	Terdiri dari proton (+) dan neutron (netral), keduanya disebut <i>nukleon</i> .	Gaya inti kuat mengikat nukleon lebih kuat dari gaya tolak elektromagnetik antar proton.
Model Inti	- <i>Liquid Drop Model</i> : inti digambarkan seperti tetesan cair dengan energi permukaan & volume. - <i>Nuclear Shell Model</i> : nukleon menempati tingkat energi tertentu, muncul konsep <i>magic numbers</i> (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126).	Model tetesan cair menjelaskan fisi; model cangkang menjelaskan kestabilan inti tertentu.
Energi Ikatan Inti	Dihitung menggunakan defek massa (Δm). Rumus: $E_b = \Delta m \times c^2$	Energi ikatan per nukleon terbesar pada Fe-56 $\rightarrow$ inti paling stabil.
Kurva Energi Ikatan	Grafik energi ikatan per nukleon vs nomor massa (A).	Menjelaskan fusi pada inti ringan & fisi pada inti berat.
Rasio Proton–Neutron (p/n ratio)	Stabilitas inti dipengaruhi oleh perbandingan jumlah proton dan neutron. - Inti ringan: $p \approx n$. - Inti berat: $n > p$ untuk mengurangi tolakan proton.	Isotop dengan rasio tidak seimbang cenderung radioaktif.
Jenis Peluruhan Radioaktif	- Alfa (α): emisi partikel He ($2p+2n$). - Beta (β): konversi neutron $\leftrightarrow$ proton dengan emisi elektron/positron. - Gamma (γ): pelepasan energi tanpa perubahan jumlah nukleon.	Mekanisme peluruhan untuk mencapai kestabilan inti.
Aplikasi Struktur Inti	- Medis : radioisotop untuk terapi kanker & diagnosis. - Energi : reaktor fisi & riset fusi nuklir. - Lingkungan : isotop untuk pelacakan polusi & studi iklim.	Menunjukkan keterkaitan teori inti dengan teknologi modern.

B. Radioaktivitas dan Jenis Peluruhan

Radioaktivitas merupakan fenomena alami yang muncul akibat ketidakstabilan inti atom. Inti yang memiliki rasio proton-neutron tidak seimbang atau energi ikatan per nukleon rendah cenderung meluruh untuk mencapai kestabilan. Fenomena ini pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1896 dan kemudian dikembangkan oleh Marie dan Pierre Curie dalam penelitian radium dan polonium. Secara ilmiah, radioaktivitas dapat dijelaskan melalui hukum peluruhan eksponensial yang menggambarkan jumlah inti tidak stabil berkurang secara konstan seiring waktu. Pengetahuan ini menjadi dasar penting dalam kimia inti, fisika nuklir, hingga aplikasi medis dan energi (Verma & Singh, 2021).

Jenis-jenis peluruhan radioaktif dibedakan berdasarkan partikel atau energi yang dilepaskan. Peluruhan alfa (α) terjadi ketika inti berat melepaskan partikel yang terdiri atas dua proton dan dua neutron, identik dengan inti helium. Reaksi ini umumnya dijumpai pada unsur berat seperti uranium dan radium. Peluruhan beta (β) dibagi menjadi β^- (emisi elektron akibat konversi neutron menjadi proton) dan β^+ (emisi positron akibat konversi proton menjadi neutron). Sementara itu, peluruhan gamma (γ) terjadi dalam bentuk pelepasan energi radiasi elektromagnetik tanpa perubahan jumlah nukleon, biasanya menyertai peluruhan alfa atau beta. Setiap mekanisme ini menjelaskan cara inti mencapai kondisi energi lebih rendah dan stabilitas lebih tinggi (Zhou & Li, 2023).

Selain alfa, beta, dan gamma, terdapat pula jenis peluruhan lain yang lebih jarang, seperti emisi neutron, emisi proton, dan penangkapan elektron (*electron capture*). Dalam penangkapan elektron, inti menangkap elektron dari kulit dalam (umumnya dari

orbital K), sehingga proton berubah menjadi neutron sambil memancarkan neutrino. Fenomena ini sering ditemukan pada isotop buatan yang dipakai dalam kedokteran nuklir. Mekanisme peluruhan yang beragam ini memperlihatkan kompleksitas interaksi nuklir yang tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah proton dan neutron, tetapi juga oleh tingkat energi inti dan konfigurasi cangkang nukleon (Kraft, 2022).

Secara matematis, hukum peluruhan radioaktif dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

dengan $N(t)$ adalah jumlah inti yang tersisa pada waktu t , N_0 jumlah inti awal, dan λ konstanta peluruhan. Dari persamaan ini, diturunkan konsep *waktu paruh* (half-life, $t_{1/2}$), yaitu waktu yang diperlukan agar separuh dari jumlah inti tidak stabil meluruh. Rumusnya:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

Konsep waktu paruh sangat penting dalam menentukan penggunaan radioisotop, baik untuk radioterapi, penanggalan karbon (C-14), maupun manajemen limbah nuklir. Misalnya, karbon-14 dengan waktu paruh sekitar 5730 tahun dimanfaatkan untuk menentukan usia fosil, sedangkan isotop medis seperti technetium-99m dipilih karena memiliki waktu paruh yang singkat dan aman digunakan dalam diagnosis (Kim & Park, 2021).

Aplikasi praktis radioaktivitas sangat luas. Dalam bidang kesehatan, isotop radioaktif dipakai untuk terapi kanker (contoh: cobalt-60) atau pencitraan medis (contoh: technetium-99m). Di bidang energi, fenomena peluruhan menjadi basis operasi reaktor nuklir dan pembangkit listrik tenaga nuklir. Dalam geologi, isotop digunakan untuk penanggalan batuan, sedangkan di lingkungan, radioisotop membantu melacak pergerakan polutan. Meski bermanfaat, radioaktivitas juga menimbulkan risiko radiasi yang harus dikelola secara ketat melalui regulasi internasional seperti International Atomic Energy Agency (IAEA). Oleh karena itu, pemahaman teori dan pengendalian praktis radioaktivitas menjadi kunci untuk memaksimalkan manfaat sekaligus meminimalisasi dampak buruknya (Verma & Singh, 2021; Zhou & Li, 2023).

Table 27 Jenis Peluruhan Radioaktif

Jenis Peluruhan	Mekanisme	Contoh Isotop	Karakteristik
Alfa (α)	Emisi partikel He ($2p + 2n$).	Uranium-238, Radium-226	Mengurangi massa inti; umum pada inti berat.
Beta Minus (β^-)	Neutron $\rightarrow$ proton + elektron + antineutrino.	Carbon-14, Strontium-90	Mengubah nomor atom +1, massa tetap.
Beta Plus (β^+)	Proton $\rightarrow$ neutron + positron + neutrino.	Potassium -40, Fluorine-18	Nomor atom berkurang 1, massa tetap.
Gamma (γ)	Pelepasan foton berenergi tinggi.	Cobalt-60	Tidak mengubah Z atau A, hanya energi.
Electron	Proton menangkap	Beryllium	Menurunkan nomor

Jenis Peluruhan	Mekanisme	Contoh Isotop	Karakteristik
Capture (EC)	elektron $\rightarrow$ neutron + neutrino.	-7, Iodine-125	atom tanpa mengubah massa.

Sumber: Verma & Singh (2021), Kraft (2022), Zhou & Li (2023), Kim & Park (2021)

C. Reaksi Inti (Fisi, Fusi)

Reaksi inti merupakan interaksi yang melibatkan perubahan struktur inti atom, baik melalui pembelahan inti berat (*fisi*) maupun penggabungan inti ringan (*fusi*). Berbeda dengan reaksi kimia biasa yang melibatkan elektron di kulit atom, reaksi inti menyangkut perubahan jumlah proton dan neutron sehingga menghasilkan energi yang jauh lebih besar sesuai persamaan Einstein $E=mc^2$. Pemahaman mengenai reaksi inti tidak hanya relevan dalam kajian teoritis, tetapi juga memiliki dampak praktis besar pada bidang energi, kesehatan, dan pertahanan. Dua bentuk utama yang paling banyak dikaji adalah fisi nuklir dan fusi nuklir (Krane, 2021).

Fisi nuklir terjadi ketika inti berat, seperti uranium-235 atau plutonium-239, menyerap neutron dan terbelah menjadi dua inti yang lebih kecil disertai pelepasan energi dan beberapa neutron tambahan. Proses ini menghasilkan energi yang sangat besar per satuan massa bahan, sehingga dimanfaatkan dalam reaktor nuklir untuk pembangkit listrik. Karakteristik fisi adalah munculnya *chain reaction* (reaksi berantai) karena neutron hasil fisi dapat memicu fisi berikutnya. Agar reaksi terkendali, digunakan moderator, pengendali neutron, serta pendingin dalam desain reaktor. Di sisi lain, fisi juga menjadi dasar

senjata nuklir yang menimbulkan perdebatan etika global karena daya ledaknya yang destruktif (Verma & Singh, 2021).

Sebaliknya, fusi nuklir merupakan proses penggabungan dua inti ringan, biasanya isotop hidrogen seperti deuterium (^2H) dan tritium (^3H), menjadi inti helium yang lebih stabil dengan pelepasan energi sangat besar. Fusi adalah sumber energi alami bintang, termasuk matahari, yang berlangsung pada suhu dan tekanan sangat tinggi. Tantangan terbesar fusi di bumi adalah bagaimana menahan plasma pada kondisi ekstrem agar reaksi dapat berkelanjutan. Teknologi *magnetic confinement* (tokamak, stellarator) dan *inertial confinement* sedang dikembangkan di berbagai proyek internasional, termasuk ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Jika berhasil dikomersialisasikan, fusi dipandang sebagai sumber energi bersih tanpa limbah radioaktif jangka panjang (Zhou & Li, 2023).

Dari perspektif energi ikatan inti, kedua reaksi ini dapat dijelaskan melalui kurva energi ikatan per nukleon. Inti ringan cenderung melebur (fusi) untuk mencapai kestabilan lebih tinggi, sedangkan inti berat cenderung membelah (fisi) untuk mendekati energi ikatan optimal. Karena itu, energi fusi dan fisi dapat dipandang sebagai manifestasi dari upaya inti untuk mencapai konfigurasi yang lebih stabil. Secara matematis, perbedaan energi sebelum dan sesudah reaksi (defek massa) dikonversi menjadi energi sesuai persamaan Einstein, yang menjelaskan besarnya energi nuklir dibandingkan reaksi kimia biasa (Kraft, 2022).

Aplikasi reaksi inti sangat luas dan penuh dilema. Fisi nuklir telah digunakan lebih dari setengah abad dalam pembangkit listrik tenaga nuklir, menyediakan energi yang relatif rendah emisi karbon. Namun, masalah limbah radioaktif dan risiko kecelakaan seperti Chernobyl

dan Fukushima memicu penolakan publik. Fusi, meski menjanjikan energi hampir tak terbatas, masih dalam tahap penelitian. Selain energi, reaksi inti juga dipakai dalam produksi radioisotop untuk kedokteran, teknologi pencitraan, hingga eksplorasi luar angkasa. Oleh karena itu, reaksi inti tidak sekadar fenomena fisika, tetapi juga isu strategis dalam pembangunan berkelanjutan dan keamanan global (Kim & Park, 2021).

Table 28 Perbandingan Fisi dan Fusi Nuklir

Aspek	Fisi Nuklir	Fusi Nuklir
Definisi	Pembelahan inti berat menjadi inti lebih kecil disertai pelepasan energi dan neutron.	Penggabungan inti ringan menjadi inti lebih berat yang stabil dengan pelepasan energi besar.
Contoh Bahan	Uranium-235, Plutonium-239	Deuterium (^2H), Tritium (^3H)
Energi Dihasilkan	~ 200 MeV per reaksi fisi	~ 17 MeV per reaksi fusi (namun dalam jumlah masif, lebih besar totalnya)
Produk Samping	Limbah radioaktif jangka panjang	Helium (stabil, tidak berbahaya)
Teknologi	Reaktor nuklir, bom atom	Tokamak (ITER), laser inertial confinement, bom hidrogen
Tantangan	Limbah radioaktif, risiko kecelakaan, isu keamanan	Memerlukan suhu & tekanan ekstrem, kendali plasma masih sulit
Status	Sudah digunakan luas	Masih tahap riset & uji coba

Aspek	Fisi Nuklir	Fusi Nuklir
	dalam PLTN	internasional

Sumber: Krane (2021), Verma & Singh (2021), Kraft (2022), Zhou & Li (2023), Kim & Park (2021).

D. Radioisotop dan Kegunaannya

Radioisotop adalah isotop suatu unsur yang bersifat radioaktif karena inti atomnya tidak stabil dan meluruh dengan memancarkan radiasi. Fenomena ini dapat terjadi secara alami (misalnya karbon-14, uranium-238) maupun buatan melalui iradiasi neutron dalam reaktor nuklir atau akselerator partikel (misalnya technetium-99m, cobalt-60). Radioisotop memiliki waktu paruh tertentu yang bervariasi dari beberapa detik hingga jutaan tahun. Karakteristik unik ini menjadikan radioisotop sangat penting dalam berbagai bidang, mulai dari kedokteran, industri, pertanian, hingga penelitian lingkungan (Verma & Singh, 2021).

Dalam bidang kesehatan, radioisotop berperan besar dalam diagnostik dan terapi. Technetium-99m adalah radioisotop yang paling luas digunakan dalam kedokteran nuklir karena memiliki waktu paruh singkat (6 jam) dan emisi gamma yang ideal untuk pencitraan organ. Positron Emission Tomography (PET) menggunakan isotop seperti fluorine-18 untuk mendeteksi aktivitas metabolisme, termasuk diagnosis kanker dan penyakit neurodegeneratif. Di sisi terapi, cobalt-60 dan iodine-131 dimanfaatkan dalam radioterapi untuk menghancurkan sel kanker. Dengan kombinasi antara diagnostik dan terapi (*theranostic approach*), radioisotop mampu meningkatkan efektivitas pengobatan sekaligus meminimalkan efek samping (Zhou & Li, 2023).

Selain kesehatan, radioisotop juga banyak digunakan dalam bidang industri. Isotop seperti iridium-192 digunakan untuk uji tak merusak (*non-destructive testing*) guna memeriksa integritas struktur pipa atau lasan. Radioisotop juga dipakai dalam pengukur ketebalan, sensor kerapatan, dan deteksi kebocoran. Bahkan dalam bidang energi, isotop digunakan untuk mengukur aliran cairan dalam reaktor serta sebagai penanda dalam proses riset material. Aplikasi ini menunjukkan bahwa radioisotop tidak hanya terbatas pada riset dasar, tetapi juga berperan langsung dalam meningkatkan keselamatan dan efisiensi sistem industri (Kraft, 2022).

Di bidang pertanian dan lingkungan, radioisotop memiliki kontribusi signifikan. Isotop fosfor-32 digunakan untuk melacak serapan pupuk dalam tanaman sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan. Sementara itu, isotop karbon-14 dan tritium dipakai dalam studi hidrologi untuk menelusuri siklus air tanah. Dalam studi perubahan iklim, analisis isotop stabil dan radioisotop membantu memahami pola pergerakan karbon di atmosfer serta dampak antropogenik terhadap lingkungan. Dengan demikian, radioisotop tidak hanya berfungsi pada skala mikro, tetapi juga memberikan wawasan makro tentang ekosistem global (Kim & Park, 2021).

Meski menawarkan banyak manfaat, penggunaan radioisotop juga menimbulkan tantangan, terutama terkait pengelolaan limbah radioaktif dan risiko paparan radiasi. Oleh karena itu, regulasi ketat dari lembaga internasional seperti International Atomic Energy Agency (IAEA) dan standar nasional diperlukan untuk memastikan keamanan pemanfaatannya. Penerapan prinsip *as low as reasonably achievable* (ALARA) menjadi pedoman dalam membatasi dosis radiasi yang diterima pekerja maupun pasien. Dengan keseimbangan antara manfaat dan risikonya, pemanfaatan radioisotop dapat terus

mendukung perkembangan sains dan teknologi modern secara berkelanjutan (Verma & Singh, 2021; Zhou & Li, 2023).

Table 29 Kegunaan Utama Radioisotop

Bidang	Contoh Radioisotop	Kegunaan
Medis – Diagnostik	Technetium-99m, Fluorine-18	Pencitraan organ, PET scan, deteksi kanker.
Medis – Terapi	Cobalt-60, Iodine-131	Radioterapi kanker, pengobatan hipertiroid.
Industri	Iridium-192, Cesium-137	Uji tak merusak (NDT), pengukur ketebalan, sensor kerapatan.
Pertanian	Phosphorus-32, Carbon-14	Penelitian serapan pupuk, studi metabolisme tanaman.
Lingkungan & Geologi	Carbon-14, Tritium	Penanggalan fosil, studi siklus air tanah, analisis perubahan iklim.

E. Dampak Radiasi terhadap Kehidupan

Radiasi adalah energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnetik, yang dapat berasal dari sumber alami maupun buatan. Dalam konteks kimia inti, radiasi umumnya merujuk pada pancaran partikel alfa, beta, dan sinar gamma dari inti tidak stabil. Kehidupan di bumi senantiasa terpapar radiasi alami, baik dari kosmos maupun isotop radioaktif di dalam tanah. Tingkat paparan ini umumnya rendah dan tidak berbahaya, namun pada dosis tinggi

radiasi dapat menimbulkan dampak serius terhadap organisme hidup, termasuk manusia. Pemahaman dampak radiasi sangat penting untuk mengelola risiko kesehatan, lingkungan, serta pemanfaatan energi nuklir secara aman (Verma & Singh, 2021).

Dampak radiasi terhadap manusia dapat dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu efek deterministik dan efek stokastik. Efek deterministik muncul ketika dosis radiasi melebihi ambang tertentu, misalnya kerusakan kulit, katarak, atau sindrom radiasi akut. Efek ini memiliki hubungan langsung dengan besarnya dosis. Sementara itu, efek stokastik seperti kanker dan mutasi genetik tidak memiliki ambang dosis tertentu; semakin besar dosis radiasi, semakin tinggi probabilitas terjadinya efek. Radiasi dapat merusak DNA, protein, dan membran sel melalui ionisasi, sehingga mengganggu fungsi biologis normal. Oleh sebab itu, lembaga internasional seperti International Commission on Radiological Protection (ICRP) menetapkan batas dosis aman radiasi untuk pekerja maupun masyarakat umum (Kraft, 2022).

Dalam konteks ekosistem, radiasi juga berpengaruh terhadap tumbuhan dan hewan. Paparan kronis pada tanaman dapat menyebabkan hambatan fotosintesis, perubahan fisiologi, hingga mutasi genetik. Pada hewan, terutama mamalia, dampak radiasi mirip dengan manusia, termasuk kerusakan jaringan dan peningkatan risiko kanker. Studi pada daerah terdampak bencana nuklir seperti Chernobyl dan Fukushima menunjukkan adanya penurunan keanekaragaman hayati serta perubahan populasi fauna tertentu. Meski demikian, beberapa organisme menunjukkan kemampuan adaptasi dan resistensi, yang menjadi fokus riset biologi radiasi modern (Zhou & Li, 2023).

Selain dampak negatif, radiasi juga dapat memberikan manfaat dalam kehidupan. Radiasi terkontrol dimanfaatkan dalam terapi kanker untuk menghancurkan sel ganas, dalam industri pangan untuk sterilisasi makanan, serta dalam bidang penelitian biologi molekuler melalui teknik penandaan isotop. Dengan prinsip *as low as reasonably achievable* (ALARA), pemanfaatan radiasi diusahakan memberi manfaat maksimal dengan risiko minimal. Hal ini menunjukkan bahwa radiasi bersifat ganda: berbahaya bila tidak terkendali, namun bermanfaat bila digunakan dengan tepat dan diawasi secara ketat (Kim & Park, 2021).

Upaya mitigasi dampak radiasi mencakup rekayasa teknis, regulasi ketat, serta edukasi publik. Penggunaan pelindung timbal, sistem pendingin reaktor, hingga detektor radiasi adalah bagian dari upaya teknis. Regulasi internasional yang dikeluarkan oleh IAEA dan WHO memastikan standar keselamatan global, sementara pada level nasional diterapkan kebijakan monitoring lingkungan, pengelolaan limbah radioaktif, dan protokol darurat nuklir. Edukasi publik mengenai bahaya radiasi juga penting agar masyarakat memahami batas aman dan tidak terjebak dalam misinformasi yang seringkali menimbulkan ketakutan berlebihan (Verma & Singh, 2021; Kraft, 2022).

Table 30 Dampak Radiasi terhadap Kehidupan

Aspek	Dampak Negatif	Dampak Positif
Manusia	Sindrom radiasi akut, kanker, mutasi genetik, kerusakan jaringan.	Radioterapi kanker, diagnosis medis (CT, PET, Sinar-X).
Tumbuhan	Gangguan fotosintesis, pertumbuhan terhambat,	Induksi mutasi untuk pemuliaan tanaman.

Aspek	Dampak Negatif	Dampak Positif
	mutasi genetik.	
Hewan	Penurunan reproduksi, kerusakan organ, gangguan populasi.	Studi ekotoksikologi & mekanisme adaptasi biologis.
Lingkungan	Pencemaran akibat kecelakaan nuklir, penurunan biodiversitas.	Penelitian isotop untuk studi iklim & siklus ekosistem.
Industri & Pangan	Risiko paparan pekerja.	Sterilisasi makanan, uji tak merusak (NDT).

F. Aplikasi Radiokimia

Radiokimia merupakan cabang kimia yang mempelajari pemanfaatan isotop radioaktif dan reaksi inti untuk tujuan ilmiah maupun praktis. Bidang ini lahir dari pengembangan ilmu radioaktivitas oleh para pionir seperti Becquerel, Curie, dan Rutherford, kemudian berkembang pesat setelah era nuklir abad ke-20. Radiokimia tidak hanya berfokus pada sintesis dan karakterisasi isotop, tetapi juga pada penerapannya dalam berbagai disiplin ilmu. Pemanfaatan radiokimia meluas ke bidang kesehatan, industri, pertanian, lingkungan, hingga eksplorasi luar angkasa. Keunggulan radiokimia terletak pada sensitivitas deteksi dan kemampuannya melacak mekanisme molekuler melalui radiasi yang dipancarkan isotop (Verma & Singh, 2021).

Salah satu aplikasi radiokimia yang paling menonjol adalah di bidang kesehatan, khususnya kedokteran nuklir. Radiotracer berbasis isotop seperti technetium-99m digunakan untuk pencitraan organ tubuh dengan resolusi tinggi. Fluorine-18 menjadi tulang punggung

teknologi *Positron Emission Tomography* (PET), memungkinkan deteksi dini kanker, gangguan metabolisme, dan penyakit neurodegeneratif. Selain itu, terapi berbasis radiokimia, seperti penggunaan iodine-131 untuk penyakit tiroid atau lutetium-177 dalam terapi kanker prostat, menunjukkan bagaimana radiokimia berperan dalam *theranostics* — gabungan diagnosis dan terapi. Pendekatan ini menandai transformasi dalam dunia medis yang lebih presisi dan individual (Zhou & Li, 2023).

Di bidang industri, radiokimia dimanfaatkan dalam pengujian material, kontrol kualitas, dan manajemen energi. Isotop radioaktif digunakan dalam *non-destructive testing* (NDT) untuk mendeteksi retakan pada struktur logam tanpa merusaknya. Cesium-137 digunakan dalam pengukur ketebalan kertas dan logam, sedangkan krypton-85 dipakai dalam detektor kebocoran gas. Radiokimia juga berperan dalam riset energi nuklir, mulai dari pengembangan bahan bakar reaktor hingga pemantauan limbah radioaktif. Aplikasi ini membuktikan bahwa radiokimia bukan hanya disiplin ilmiah, tetapi juga solusi nyata dalam mendukung keberlanjutan industri (Kraft, 2022).

Pertanian dan lingkungan juga mendapat manfaat besar dari radiokimia. Radioisotop seperti phosphorus-32 digunakan untuk meneliti efisiensi pupuk dalam tanaman, sedangkan carbon-14 dimanfaatkan untuk memahami jalur fotosintesis. Dalam pengelolaan lingkungan, isotop tritium dan krypton-85 digunakan untuk melacak pergerakan air tanah dan pencemaran atmosfer. Radiokimia memungkinkan peneliti memahami siklus ekosistem dengan presisi tinggi, sekaligus membantu mitigasi dampak perubahan iklim. Bahkan dalam penelitian geologi, teknik penanggalan radioisotop (misalnya

dengan uranium-thorium atau karbon-14) menjadi kunci dalam menentukan usia fosil dan batuan (Kim & Park, 2021).

Selain itu, radiokimia memiliki aplikasi strategis dalam bidang eksplorasi luar angkasa dan teknologi energi masa depan. Generator termoelektrik radioisotop (RTG) menggunakan plutonium-238 sebagai sumber panas untuk menghasilkan listrik, yang telah digunakan NASA dalam misi Voyager, Curiosity, dan Perseverance di Mars. Aplikasi ini menunjukkan fleksibilitas radiokimia dalam menyediakan energi jangka panjang di lingkungan ekstrem. Lebih jauh lagi, riset radiokimia mendukung pengembangan fusi nuklir sebagai energi bersih dengan mempelajari perilaku isotop deuterium dan tritium dalam plasma (Verma & Singh, 2021; Zhou & Li, 2023).

Table 31 Aplikasi Radiokimia di Berbagai Bidang

Bidang	Contoh Radioisotop	Aplikasi Utama
Kesehatan	Technetium-99m, Fluorine-18, Iodine-131, Lutetium-177	Diagnostik (PET, SPECT), terapi kanker, penyakit tiroid (<i>theranostics</i>).
Industri	Iridium-192, Cesium-137, Krypton-85	Uji tak merusak (NDT), pengukur ketebalan, deteksi kebocoran.
Pertanian	Phosphorus-32, Carbon-14	Penelitian serapan pupuk, jalur fotosintesis tanaman.
Lingkungan & Geologi	Tritium, Krypton-85, Uranium-Thorium	Studi hidrologi, penanggalan batuan & fosil, pemantauan polusi.
Eksplorasi Luar Angkasa	Plutonium-238	RTG untuk misi ruang angkasa, sumber energi jangka panjang.

G. Rangkuman

Bab ini membahas konsep fundamental dan aplikasi praktis dari kimia inti serta radiokimia. Pada bagian awal dijelaskan bahwa **struktur inti atom** tersusun atas proton dan neutron yang diikat oleh gaya inti kuat. Stabilitas inti ditentukan oleh energi ikatan per nukleon dan rasio proton-neutron. Model inti seperti *liquid drop model* dan *nuclear shell model* memberikan pemahaman mengenai fenomena fisi, fusi, dan bilangan ajaib.

Selanjutnya, **radioaktivitas dan jenis peluruhan** diperkenalkan sebagai mekanisme inti mencapai kestabilan. Terdapat beberapa jenis peluruhan utama, yakni alfa, beta (β^- dan β^+), gamma, serta *electron capture*. Semua peluruhan mengikuti hukum peluruhan eksponensial dengan konsep waktu paruh (*half-life*), yang penting dalam penentuan umur fosil, aplikasi medis, hingga manajemen limbah nuklir.

Bab ini juga membahas **reaksi inti** dalam bentuk fisi dan fusi. Fisi merupakan pembelahan inti berat (U-235, Pu-239) yang menjadi dasar reaktor nuklir dan senjata atom, sedangkan fusi adalah penggabungan inti ringan (deuterium dan tritium) yang menjadi sumber energi bintang. Fisi telah lama digunakan dalam pembangkit listrik tenaga nuklir, sementara fusi masih dalam tahap riset global seperti proyek ITER, namun dipandang sebagai energi masa depan yang bersih dan berkelanjutan.

Pada bagian **radioisotop**, dijelaskan berbagai kegunaannya dalam kehidupan modern. Di bidang kesehatan, radioisotop dimanfaatkan untuk diagnosis (technetium-99m, fluorine-18) dan terapi (iodine-131, cobalt-60). Dalam industri, isotop digunakan untuk uji tak merusak dan pengukur ketebalan. Pertanian dan lingkungan juga terbantu

melalui tracer isotop untuk studi pupuk, air tanah, dan perubahan iklim.

Selanjutnya, dibahas **dampak radiasi terhadap kehidupan**. Radiasi pada dosis tinggi dapat menimbulkan efek deterministik (kerusakan jaringan, sindrom radiasi) maupun stokastik (kanker, mutasi genetik). Pada ekosistem, radiasi berpengaruh pada tumbuhan, hewan, dan biodiversitas, sebagaimana terlihat pada kasus Chernobyl dan Fukushima. Meski demikian, radiasi juga bermanfaat bila digunakan secara terkendali, misalnya untuk terapi kanker dan sterilisasi pangan.

Terakhir, pada **aplikasi radiokimia**, diperlihatkan peran luas disiplin ini dalam berbagai sektor: kesehatan (diagnostik dan terapi berbasis isotop), industri (uji material dan sensor), pertanian (penelitian nutrisi tanaman), lingkungan (penanggulangan karbon, studi polusi), hingga eksplorasi luar angkasa (RTG berbasis plutonium-238). Radiokimia menjadi salah satu cabang ilmu kimia yang aplikatif sekaligus strategis bagi kemajuan sains, teknologi, dan pembangunan berkelanjutan.

H. Latihan

Soal

1. Jelaskan bagaimana *nuclear shell model* dan *liquid drop model* saling melengkapi dalam menjelaskan struktur inti atom!
2. Uraikan hukum peluruhan radioaktif beserta makna waktu paruh dalam aplikasinya pada bidang arkeologi!

3. Bandingkan reaksi fisi dan fusi dari segi mekanisme, energi yang dihasilkan, serta tantangan teknologinya!
4. Sebutkan tiga contoh aplikasi radioisotop di bidang kesehatan, industri, dan lingkungan, serta jelaskan manfaatnya!
5. Apa saja dampak radiasi terhadap kehidupan manusia dan lingkungan, serta bagaimana strategi proteksi radiasi yang diterapkan?

Jawaban

1. *Nuclear shell model* menjelaskan kestabilan inti melalui tingkat energi nukleon dan *magic numbers*, sedangkan *liquid drop model* menggambarkan inti seperti tetesan cairan untuk menjelaskan sifat kolektif seperti fisi. Keduanya saling melengkapi dalam memahami struktur inti atom.
2. Hukum peluruhan radioaktif

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Waktu paruh ($t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$) adalah waktu yang diperlukan agar separuh inti meluruh. Dalam arkeologi, karbon-14 digunakan untuk menentukan usia fosil berdasarkan perbandingan isotop.

3. Fisi: pembelahan inti berat (U-235, Pu-239) menjadi inti kecil dengan energi besar dan limbah radioaktif. Fusi: penggabungan inti ringan (^2H , ^3H) menjadi helium dengan energi lebih besar, bersih, tetapi sulit dikendalikan karena butuh suhu/tekanan ekstrem.

4. Kesehatan: Technetium-99m untuk pencitraan, Iodine-131 untuk terapi tiroid. Industri: Iridium-192 untuk *non-destructive testing*. Lingkungan: Tritium untuk melacak air tanah.
5. Dampak radiasi: efek deterministik (sindrom radiasi, kerusakan jaringan), efek stokastik (kanker, mutasi genetik), serta gangguan ekosistem. Proteksi: prinsip *ALARA*, pelindung fisik (timbal, beton), pengendalian dosis, dan regulasi IAEA/nasional.

BAB XI

POLIMER

Bab ini membahas polimer sebagai salah satu cabang penting dalam kimia modern yang memiliki aplikasi luas dalam kehidupan sehari-hari maupun industri. Polimer mencakup berbagai material, mulai dari plastik, karet, serat, hingga biopolimer yang menopang sistem hayati. Pembahasan akan diawali dengan definisi dan klasifikasi polimer, kemudian dilanjutkan dengan struktur, sifat fisik-kimia, metode sintesis, hingga aplikasinya dalam berbagai bidang.

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan definisi dan klasifikasi polimer berdasarkan asal, struktur, dan sifat kimianya secara tepat.
- Membedakan antara polimer alami dan sintesis serta mengidentifikasi contoh dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.
- Menganalisis sifat-sifat fisik dan kimia polimer, termasuk berat molekul, suhu transisi kaca (T_g), suhu leleh (T_m), elastisitas, kelarutan, dan konduktivitas.
- Menjelaskan proses dan mekanisme pembuatan polimer, baik melalui polimerisasi adisi maupun kondensasi, serta mengenal teknik polimerisasi modern.
- Mengaitkan sifat dan struktur polimer dengan aplikasinya di berbagai bidang seperti kesehatan, pangan, energi, dan teknologi.

A. Definisi dan Klasifikasi Polimer

Polimer didefinisikan sebagai makromolekul yang terbentuk dari pengulangan unit-unit kecil yang disebut monomer, terhubung melalui ikatan kovalen menjadi rantai panjang. Konsep polimer telah berkembang sejak Staudinger memperkenalkan istilah *macromolecules* pada awal abad ke-20, yang kemudian menjadi dasar bagi perkembangan industri plastik dan karet sintetis (Chen et al., 2021). Dalam perkembangan terbaru, definisi polimer tidak hanya mencakup molekul sintetis, tetapi juga biopolimer seperti protein, DNA, dan polisakarida yang memainkan peran fundamental dalam sistem biologis (Zhu et al., 2022). Dengan demikian, pemahaman polimer saat ini mencakup aspek kimia, biologi, dan teknologi material secara interdisipliner.

Klasifikasi polimer dapat dilakukan berdasarkan berbagai kriteria. Berdasarkan asalnya, polimer dibagi menjadi polimer alam (misalnya selulosa, karet alam, protein) dan polimer sintetis (misalnya polietilena, polipropilena, polistirena). Polimer sintetis lebih dominan dalam industri modern karena sifatnya dapat dirancang sesuai kebutuhan tertentu, sementara polimer alam lebih menekankan pada keberlanjutan dan kompatibilitas hayati (Khan et al., 2020). Klasifikasi ini penting karena menentukan arah penelitian, baik untuk menggali potensi biomaterial alami maupun merancang polimer rekayasa dengan sifat unggul.

Selain asal, polimer juga diklasifikasikan berdasarkan struktur rantai utama. Polimer linear memiliki susunan monomer dalam rantai lurus, sedangkan polimer bercabang memiliki cabang pada rantai utamanya. Ada pula polimer jaringan (*cross-linked*) yang terbentuk dari ikatan silang antar rantai, sehingga menghasilkan sifat mekanik

yang lebih kuat, seperti pada resin epoksi dan karet vulkanisasi (Liu & Chen, 2021). Struktur rantai ini sangat menentukan sifat fisis polimer, seperti titik leleh, elastisitas, dan daya tahan terhadap panas. Misalnya, polimer jaringan umumnya memiliki stabilitas termal lebih tinggi dibandingkan polimer linear.

Dari sisi reaksi pembentukannya, polimer dibedakan menjadi polimer adisi dan polimer kondensasi. Polimer adisi terbentuk melalui penggabungan monomer dengan ikatan rangkap tanpa melepaskan molekul kecil, seperti polietilena yang terbentuk dari etilena. Sebaliknya, polimer kondensasi terjadi melalui pelepasan molekul kecil (misalnya air, HCl) selama pembentukan ikatan, contohnya nilon dari reaksi antara diamin dan dikarboksilat (Patel et al., 2023). Perbedaan mekanisme ini berimplikasi pada sifat akhir polimer, di mana polimer adisi cenderung non-polar dan tahan terhadap pelarut, sementara polimer kondensasi memiliki gugus polar yang meningkatkan interaksi antarmolekul.

Klasifikasi lain adalah berdasarkan sifat fisisnya, yakni termoplastik, termoset, dan elastomer. Termoplastik dapat dilelehkan dan dicetak ulang berkali-kali, contohnya polietilena dan polipropilena, sehingga populer dalam industri kemasan. Termoset, seperti resin epoksi, tidak dapat dilelehkan kembali setelah mengeras karena terbentuk ikatan silang permanen. Sementara itu, elastomer seperti karet memiliki sifat elastis tinggi, sehingga banyak digunakan dalam ban dan peralatan mekanis. Pengelompokan ini penting dalam dunia industri karena menentukan proses manufaktur dan daur ulang polimer (Gupta et al., 2020).

Implikasi praktis dari pemahaman definisi dan klasifikasi polimer sangat signifikan dalam konteks pembangunan berkelanjutan. Tren

penelitian saat ini menekankan pada pengembangan polimer biodegradable dan *bio-based polymers* untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah plastik. Misalnya, polilaktida (PLA) yang berasal dari fermentasi gula jagung menjadi alternatif ramah lingkungan bagi plastik konvensional. Selain itu, upaya meningkatkan daur ulang polimer sintetis juga semakin gencar melalui teknologi *chemical recycling* yang mengubah kembali polimer menjadi monomer (Wang et al., 2024). Dengan demikian, klasifikasi polimer tidak hanya menjadi aspek akademis, tetapi juga panduan strategis dalam inovasi material hijau.

B. Polimer Alami

Polimer alami merupakan makromolekul yang terbentuk secara biologis melalui proses metabolisme pada makhluk hidup. Polimer ini berperan penting dalam menopang struktur, fungsi, dan dinamika kehidupan, seperti selulosa pada tumbuhan, protein pada hewan, serta asam nukleat yang menyimpan informasi genetik. Secara umum, polimer alami dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama: polisakarida, protein, dan asam nukleat. Kehadiran polimer alami menunjukkan bahwa konsep polimer bukan hanya terkait material sintetis modern, tetapi juga bagian integral dari sistem biologis (Ahmed et al., 2021). Dalam kajian kimia dan bioteknologi, polimer alami menjadi fokus karena sifatnya yang *biodegradable* dan kompatibel secara hayati, sehingga sangat relevan dengan isu keberlanjutan.

Salah satu polimer alami yang paling banyak diteliti adalah polisakarida. Selulosa, hemiselulosa, dan kitin merupakan contoh utama yang berfungsi sebagai komponen struktural pada tumbuhan, alga, dan hewan invertebrata. Selulosa misalnya, menyusun dinding

sel tumbuhan dan menjadi sumber biomassa terbesar di bumi. Sementara kitin, yang ditemukan pada eksoskeleton serangga dan cangkang krustasea, memiliki potensi besar dalam bidang biomedis setelah diolah menjadi kitosan (Mohan et al., 2022). Keunggulan polisakarida terletak pada sifatnya yang ramah lingkungan, dapat diperbarui, dan memiliki keragaman fungsi, mulai dari bahan pangan, tekstil, hingga farmasi.

Selain polisakarida, protein juga termasuk dalam kategori polimer alami dengan fungsi yang sangat luas. Protein terbentuk dari rantai panjang asam amino yang terlipat membentuk struktur tiga dimensi kompleks. Fungsinya mencakup katalis biologis (enzim), transportasi molekul, penyimpanan energi, hingga penyusun jaringan tubuh. Kolagen, misalnya, adalah protein struktural utama yang menjaga elastisitas kulit dan kekuatan jaringan ikat. Dalam aplikasi industri, gelatin hasil hidrolisis kolagen banyak digunakan pada makanan, farmasi, dan kosmetik. Penelitian terbaru juga mengembangkan protein alami sebagai bahan biomaterial untuk regenerasi jaringan (Liu et al., 2023). Hal ini menegaskan bahwa protein sebagai polimer alami memiliki peran vital, baik dalam aspek biologis maupun aplikatif.

Asam nukleat, yaitu DNA dan RNA, merupakan polimer alami yang menyimpan, mentransfer, dan mengekspresikan informasi genetik. DNA terdiri atas nukleotida dengan basa nitrogen (adenin, timin, sitosin, guanin), gula deoksiribosa, dan gugus fosfat, yang membentuk struktur heliks ganda. RNA berperan dalam transkripsi dan translasi informasi genetik untuk sintesis protein. Pemahaman tentang asam nukleat tidak hanya penting dalam biologi molekuler, tetapi juga dalam teknologi modern, seperti terapi gen, vaksin mRNA, dan rekayasa genetika (Wang et al., 2021). Dengan demikian, asam

nukleat sebagai polimer alami menjadi jembatan antara ilmu kimia dan biomedis kontemporer.

Polimer alami juga memiliki peran penting dalam inovasi material hijau. Tren global saat ini mendorong pemanfaatan biopolimer untuk menggantikan polimer sintetis berbasis minyak bumi yang sulit terurai. Misalnya, pati dan selulosa diolah menjadi bioplastik yang lebih ramah lingkungan. Kitosan digunakan sebagai bahan antimikroba dalam pengemasan makanan, sementara alginat dari alga dimanfaatkan untuk aplikasi farmasi dan bioteknologi. Penggunaan polimer alami ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada sumber daya fosil, tetapi juga mendukung prinsip *circular economy* dan keberlanjutan (Kumar et al., 2024).

Implikasi praktis dari pemahaman polimer alami sangat luas, baik dalam konteks kesehatan, pangan, maupun lingkungan. Di bidang medis, polimer alami digunakan dalam pembuatan kapsul obat yang dapat terurai dalam tubuh, sistem penghantaran obat (*drug delivery*), dan rekayasa jaringan. Dalam bidang pertanian, biopolimer dapat difungsikan sebagai pelapis benih atau pupuk lepas lambat. Sementara dalam industri pangan, pati termodifikasi banyak dipakai sebagai pengental dan penstabil. Keunggulan utama polimer alami adalah sifatnya yang *biocompatible* dan *biodegradable*, sehingga menjadi solusi potensial untuk mengurangi permasalahan limbah plastik global (Zhang et al., 2023). Dengan demikian, polimer alami bukan hanya sekadar bahan biologis, tetapi juga aset strategis dalam membangun masa depan yang berkelanjutan.

C. Polimer Sintetik

Polimer sintetik merupakan polimer yang dihasilkan melalui proses kimia buatan dengan memanfaatkan monomer sederhana dari bahan baku terutama berbasis petrokimia, meskipun kini berkembang pula sumber berbasis biomassa. Sejak ditemukannya bakelit oleh Leo Baekeland pada awal abad ke-20, polimer sintetik telah merevolusi dunia industri dan kehidupan sehari-hari. Material seperti polietilena, polipropilena, polistirena, hingga nilon menjadi bagian integral dari teknologi modern. Penelitian terbaru menekankan bahwa polimer sintetik bukan hanya sekadar material murah dan massal, tetapi juga sebagai *advanced materials* yang dapat direkayasa untuk aplikasi khusus, seperti *conducting polymers*, *smart polymers*, dan *biocompatible polymers* (Chen et al., 2022). Dengan demikian, polimer sintetik berkembang dari sekadar pengganti bahan alami menjadi platform inovasi teknologi.

Berdasarkan mekanisme pembentukannya, polimer sintetik dibagi menjadi dua kelompok utama: polimer adisi dan polimer kondensasi. Polimer adisi terbentuk melalui reaksi pembukaan ikatan rangkap monomer olefin, seperti etilena atau propilena, tanpa pelepasan molekul kecil. Contoh klasik adalah polietilena dan polipropilena yang digunakan luas dalam kemasan plastik dan tekstil. Sebaliknya, polimer kondensasi terbentuk melalui pelepasan molekul kecil (air, HCl, metanol), seperti pada pembuatan nilon dari reaksi antara heksametilendiamin dan asam adipat. Kedua mekanisme ini menghasilkan polimer dengan sifat yang berbeda: polimer adisi umumnya lebih inert, sementara polimer kondensasi memiliki gugus fungsional yang memengaruhi sifat mekaniknya (Patel et al., 2023).

Klasifikasi lain yang relevan adalah berdasarkan sifat fisiknya: termoplastik, termoset, dan elastomer. Termoplastik seperti polietilena dapat dilelehkan dan dicetak ulang, menjadikannya pilihan utama dalam industri kemasan. Termoset seperti resin epoksi atau bakelit memiliki ikatan silang permanen sehingga kuat dan tahan panas, tetapi tidak dapat didaur ulang dengan metode konvensional. Elastomer seperti poliisoprena sintesis digunakan sebagai bahan ban karena sifat elastisitasnya yang tinggi. Perbedaan sifat ini membuat polimer sintetik sangat fleksibel penggunaannya, dari produk rumah tangga hingga komponen pesawat terbang (Gupta et al., 2020).

Perkembangan mutakhir menyoroti munculnya polimer fungsional dan polimer cerdas (*smart polymers*). Polimer jenis ini mampu merespons rangsangan eksternal seperti suhu, pH, cahaya, atau medan listrik. Aplikasinya sangat luas, mulai dari sensor biomedis, penghantaran obat (*drug delivery systems*), hingga perangkat elektronik fleksibel (Zhang et al., 2021). Misalnya, *shape-memory polymers* dapat kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi, sehingga digunakan pada perangkat medis minimal invasif. Demikian pula, *conducting polymers* seperti polianilin dan polipirol semakin banyak digunakan dalam teknologi baterai, superkapasitor, dan panel surya organik (Liu & Chen, 2022).

Namun, dominasi polimer sintetik juga membawa dampak lingkungan serius, terutama terkait limbah plastik yang sulit terurai. Oleh karena itu, penelitian terkini menekankan pengembangan polimer sintetik ramah lingkungan. Inovasi ini mencakup *biodegradable plastics* berbasis asam polilaktat (PLA) atau polihidroksialkanoat (PHA), serta teknologi *chemical recycling* untuk mengubah kembali polimer menjadi monomer (Wang et al., 2024). Tantangan utamanya adalah menjaga keseimbangan antara performa

material dan keberlanjutan lingkungan. Dengan dorongan regulasi global dan kesadaran konsumen, arah riset polimer sintetik kini bergerak ke arah desain sirkular dan *green chemistry*.

Implikasi praktis dari polimer sintetik sangat luas dalam berbagai bidang. Dalam kesehatan, polimer sintetik digunakan untuk pembuatan prostetik, alat medis sekali pakai, dan sistem penghantaran obat. Dalam teknologi, polimer konduktif dan optoelektronik membuka jalan bagi perangkat fleksibel seperti layar *OLED* dan *wearable electronics*. Sementara di sektor energi, membran polimer digunakan dalam sel bahan bakar dan baterai litium-ion. Oleh karena itu, pemahaman tentang polimer sintetik tidak hanya penting dari sisi kimia, tetapi juga sebagai fondasi inovasi interdisipliner untuk menjawab tantangan global (Kumar et al., 2024).

D. Sifat-Sifat Polimer

Sifat-sifat polimer sangat beragam dan menentukan penerapannya dalam berbagai bidang. Tidak seperti molekul kecil, polimer memiliki berat molekul sangat besar dengan distribusi yang luas. Oleh karena itu, karakterisasi polimer tidak cukup hanya dengan satu angka berat molekul, melainkan menggunakan konsep rata-rata. Dua parameter utama adalah **berat molekul rata-rata bilangan (M_n)** dan **berat molekul rata-rata berat (M_w)**. Rumusnya dapat dituliskan sebagai:

$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}, \quad M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

dengan N_i adalah jumlah molekul dengan berat molekul M_i . Rasio M_w/M_n dikenal sebagai **polydispersity index (PDI)**, yang menunjukkan homogenitas distribusi berat

molekul. Nilai PDI yang rendah berarti polimer lebih seragam, sehingga sifat mekaniknya lebih konsisten (Zhang et al., 2022).

Dari sisi mekanik, polimer menunjukkan perilaku yang unik, khususnya elastomer. Sifat elastisitas polimer dijelaskan dengan **teori entropi karet (rubber elasticity theory)**. Tegangan tarik (σ) yang timbul ketika polimer direntangkan berhubungan dengan suhu mutlak dan jumlah rantai elastomer per satuan volume:

$$\sigma = nRT \left(\lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right)$$

di mana n adalah jumlah rantai per volume, R konstanta gas, T temperatur, dan λ adalah rasio regangan. Rumus ini menunjukkan bahwa elastisitas polimer bersumber dari perubahan entropi rantai, bukan hanya ikatan kimia. Hal ini menjelaskan mengapa karet bisa kembali ke bentuk semula setelah ditarik.

Sifat termal polimer ditentukan oleh suhu transisi kaca (*glass transition temperature, T_g*) dan suhu leleh (*melting temperature, T_m*). Untuk campuran atau kopolimer, nilai T_g dapat diperkirakan menggunakan persamaan Fox:

$$\frac{1}{T_g} = \frac{w_1}{T_{g1}} + \frac{w_2}{T_{g2}}$$

dengan w_1 dan w_2 adalah fraksi berat komponen, sedangkan T_{g1} dan T_{g2} adalah T_g masing-masing polimer murni. Persamaan ini membantu perancang material memprediksi sifat termal polimer baru hasil pencampuran. Misalnya,

pencampuran polistirena dengan polimetil metakrilat dapat menghasilkan Tg menengah, sesuai kebutuhan aplikasi industri.

Selain mekanik dan termal, kelarutan juga menjadi sifat penting. Teori **Flory-Huggins** menjelaskan energi bebas pencampuran polimer dengan pelarut:

$$\Delta G_m = RT \left[\frac{\phi_1}{N_1} \ln \phi_1 + \frac{\phi_2}{N_2} \ln \phi_2 + \chi \phi_1 \phi_2 \right]$$

di mana ϕ_1, ϕ_2 adalah fraksi volume pelarut dan polimer, N_1, N_2 derajat polimerisasi, serta χ parameter interaksi. Jika $\Delta G_m < 0$, pencampuran terjadi secara spontan. Persamaan ini sangat relevan dalam merancang polimer larut untuk farmasi atau bioteknologi.

Dalam hal karakterisasi larutan, **hukum Mark-Houwink** menghubungkan viskositas intrinsik $[\eta]$ dengan berat molekul rata-rata:

$$[\eta] = KM^a$$

dengan K dan a adalah konstanta spesifik sistem pelarut-polimer. Rumus ini memungkinkan estimasi berat molekul polimer melalui pengukuran sederhana terhadap viskositas larutannya. Metode ini banyak dipakai pada polietilena glikol dan polivinil alkohol.

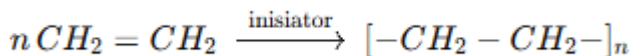
Integrasi rumus-rumus di atas menunjukkan bahwa sifat polimer dapat dipahami secara kuantitatif, bukan hanya kualitatif. Implikasi praktisnya sangat luas, mulai dari desain polimer elastis untuk ban kendaraan, polimer tahan panas untuk industri pesawat, polimer biodegradable untuk kemasan ramah lingkungan, hingga polimer

konduktif untuk perangkat elektronik. Dengan pendekatan teoritis dan eksperimental yang saling melengkapi, pengembangan polimer masa depan dapat diarahkan untuk mendukung inovasi teknologi sekaligus keberlanjutan lingkungan (Kumar et al., 2024)..

E. Proses Pembuatan Polimer

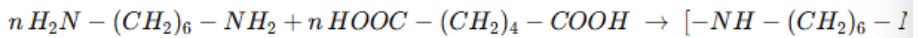
Proses pembuatan polimer atau polimerisasi merupakan inti dari ilmu polimer, karena menentukan struktur, sifat, dan aplikasi material yang dihasilkan. Secara umum, polimerisasi dibagi menjadi dua mekanisme utama, yaitu **polimerisasi adisi (rantai)** dan **polimerisasi kondensasi (tahap)**. Keduanya berbeda dalam mekanisme, kinetika, serta produk yang dihasilkan. Pemahaman mengenai proses polimerisasi menjadi kunci dalam merancang polimer dengan sifat tertentu, mulai dari plastik kemasan sederhana hingga *biopolymers* berteknologi tinggi (Chen et al., 2022).

Pada **polimerisasi adisi**, monomer dengan ikatan rangkap atau gugus vinil bergabung tanpa menghasilkan molekul kecil sebagai produk samping. Mekanisme ini melibatkan tiga tahap utama: inisiasi, propagasi, dan terminasi. Contoh paling klasik adalah polimerisasi etilena menjadi polietilena, yang dapat ditulis:



Polimerisasi adisi dapat berlangsung dengan mekanisme radikal bebas, ionik, maupun koordinasi (misalnya dengan katalis Ziegler–Natta). Metode Ziegler–Natta dan *metallocene catalysis* memungkinkan produksi polipropilena isotaktik dengan kontrol stereokimia tinggi, yang sangat menentukan sifat mekanik dan termalnya (Patel et al., 2023).

Sebaliknya, **polimerisasi kondensasi** berlangsung melalui reaksi antara dua monomer bifungsional atau lebih dengan pelepasan molekul kecil seperti air, HCl, atau metanol. Contoh khas adalah pembentukan nilon-6,6 dari reaksi antara heksametilendiamin dan asam adipat:



Proses ini menghasilkan polimer dengan gugus fungsional polar (misalnya $-CONH-$ atau $-COO-$), sehingga memiliki sifat mekanik kuat namun lebih mudah terdegradasi dibandingkan polimer adisi. Karena pelepasan molekul kecil, polimerisasi kondensasi memerlukan kondisi reaksi khusus seperti suhu tinggi dan vakum agar reaksi berjalan optimal (Zhang et al., 2021).

Selain dua mekanisme utama, terdapat metode khusus yang berkembang pesat, yakni **polimerisasi dengan kontrol molekul** atau *living polymerization*. Metode ini mencakup *Atom Transfer Radical Polymerization (ATRP)*, *Reversible Addition–Fragmentation Chain Transfer (RAFT)*, dan *Ring-Opening Polymerization (ROP)*. Polimerisasi ini memungkinkan pengendalian berat molekul, distribusi sempit ($PDI \sim 1$), serta arsitektur khusus seperti blok, graft, atau bintang. Sebagai contoh, ROP banyak digunakan dalam sintesis polilaktida (PLA), polimer biodegradable dari monomer asam laktat, yang sangat relevan untuk aplikasi medis dan kemasan ramah lingkungan (Liu et al., 2022).

Selain itu, **proses polimerisasi industri** dapat dilakukan dengan berbagai teknik: *bulk polymerization*, *solution polymerization*, *suspension polymerization*, dan *emulsion polymerization*. Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Misalnya, polimerisasi

emulsi sangat efektif untuk menghasilkan lateks karet sintetis dengan ukuran partikel kecil dan homogen, sedangkan polimerisasi massal (bulk) menghasilkan produk murni tetapi sulit dikendalikan karena panas reaksi tinggi. Pemilihan metode bergantung pada jenis polimer, biaya produksi, serta sifat akhir yang diinginkan (Ahmed et al., 2021).

Implikasi praktis dari pemahaman proses pembuatan polimer sangat luas. Dalam industri plastik, kontrol polimerisasi menentukan sifat kekuatan, kejernihan, dan ketahanan panas produk. Dalam bidang kesehatan, polimerisasi khusus seperti ROP memungkinkan produksi biomaterial biodegradable untuk implan dan sistem penghantaran obat. Sementara di bidang energi, polimer konduktif yang diproduksi melalui polimerisasi terkontrol menjadi material penting dalam baterai, sel surya organik, dan perangkat elektronik fleksibel. Dengan kemajuan teknologi katalis dan teknik reaksi, masa depan polimerisasi akan semakin mengarah pada prinsip *green chemistry*, efisiensi energi, dan keberlanjutan (Kumar et al., 2024)

F. Aplikasi Polimer dalam Kehidupan

Polimer telah menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan manusia modern. Hampir semua aspek kehidupan memanfaatkan polimer, baik yang bersifat alami maupun sintetis. Dari plastik kemasan, tekstil, karet, hingga biomaterial canggih, polimer menawarkan fleksibilitas fungsi yang sulit ditandingi material lain. Keunggulan utama polimer adalah kemampuannya untuk direkayasa sesuai kebutuhan, sehingga dapat memiliki sifat mekanik, termal, maupun kimia yang spesifik. Dengan kemajuan ilmu material, polimer kini tidak hanya digunakan untuk kebutuhan sehari-hari, tetapi juga menjadi kunci inovasi dalam bidang kesehatan, energi, dan teknologi informasi (Ahmed et al., 2021).

Dalam bidang kesehatan, polimer berperan penting dalam pembuatan alat medis, sistem penghantaran obat, serta rekayasa jaringan. Polimer biokompatibel seperti polilaktida (PLA) dan poliglikolida (PGA) digunakan sebagai bahan *scaffold* untuk regenerasi jaringan, karena dapat terdegradasi secara alami dalam tubuh. Selain itu, polimer hidrogel mampu menahan air dalam jumlah besar dan sering dipakai sebagai lensa kontak, pembalut luka, serta matriks pelepasan obat (*drug delivery systems*). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa polimer cerdas (*smart polymers*) dapat merespons perubahan pH atau suhu, sehingga memungkinkan pelepasan obat yang terkontrol di lokasi target (Zhang et al., 2022).

Dalam industri pangan dan kemasan, polimer digunakan sebagai bahan pelapis, pengemas, dan aditif. Polietilena (PE) dan polipropilena (PP) mendominasi plastik sekali pakai karena sifatnya yang ringan, kuat, dan tahan air. Namun, isu lingkungan mendorong penggunaan polimer biodegradable seperti PLA, pati termodifikasi, dan kitosan untuk menggantikan plastik konvensional. Misalnya, kitosan yang berasal dari kitin telah digunakan sebagai pengemas antimikroba untuk memperpanjang umur simpan produk pangan. Di sisi lain, polimer juga digunakan sebagai bahan pengental, stabilisator, dan pengikat dalam produk makanan (Mohan et al., 2022).

Aplikasi polimer dalam bidang energi juga semakin berkembang. Polimer konduktif digunakan sebagai bahan elektrolit dalam baterai litium-ion, sel bahan bakar, serta superkapasitor. Membran polimer khusus seperti Nafion® memiliki peran sentral dalam transportasi ion pada sel bahan bakar hidrogen. Sementara itu, polimer organik dengan sifat semikonduktor dikembangkan untuk sel surya organik (organic photovoltaic/OPV) yang fleksibel dan ringan. Perkembangan ini

membuka jalan bagi solusi energi terbarukan yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Wang et al., 2023).

Di bidang teknologi informasi dan komunikasi, polimer juga memiliki kontribusi besar. Polimer transparan seperti polimetil metakrilat (PMMA) digunakan sebagai bahan optik pada layar, lensa, dan serat optik. Polimer elektroluminesen menjadi dasar teknologi OLED (*organic light-emitting diode*) yang digunakan pada layar ponsel, televisi, dan perangkat elektronik fleksibel. Selain itu, polimer dielektrik dipakai dalam komponen mikroelektronika karena memiliki konstanta dielektrik yang tinggi. Temuan terbaru bahkan mengembangkan polimer untuk aplikasi *wearable electronics* dan sensor biomedis (Liu et al., 2022).

Untuk memudahkan pemahaman, berikut ringkasan aplikasi polimer dalam berbagai bidang:

Table 32 Aplikasi Polimer dalam Kehidupan Sehari-hari

Bidang	Jenis Polimer	Contoh Aplikasi
Kesehatan	PLA, PGA, hidrogel, polimer cerdas	Scaffold jaringan, lensa kontak, penghantaran obat
Pangan	PE, PP, PLA, kitosan	Kemasan makanan, pelapis antimikroba, pengental
Energi	Nafion®, polimer konduktif, OPV	Sel bahan bakar, baterai, sel surya organik
Teknologi	PMMA, OLED-polymers, polimer dielektrik	Layar OLED, serat optik, sensor elektronik

Sumber: disarikan dari Ahmed et al. (2021), Mohan et al. (2022), Zhang et al. (2022), Wang et al. (2023), Liu et al. (2022).

Dari paparan tersebut, jelas bahwa aplikasi polimer tidak hanya menyentuh kebutuhan dasar manusia, tetapi juga mendorong inovasi

di bidang strategis. Tantangan terbesar saat ini adalah bagaimana mengelola limbah polimer sintetis yang sulit terurai. Oleh karena itu, tren riset masa depan lebih menekankan pada pengembangan polimer berbasis biomassa dan polimer biodegradable untuk mendukung prinsip ekonomi sirkular. Dengan pemahaman yang mendalam mengenai sifat dan proses pembuatan, polimer akan terus menjadi tulang punggung pembangunan berkelanjutan dan teknologi modern (Kumar et al., 2024).

G. Rangkuman

Bab ini membahas konsep dasar, sifat, serta penerapan polimer dalam berbagai bidang kehidupan. Polimer didefinisikan sebagai makromolekul yang tersusun dari unit monomer berulang, dengan klasifikasi berdasarkan asal (alami dan sintetis), struktur, mekanisme pembentukan, serta sifat fisis-kimianya.

Polimer alami, seperti selulosa, protein, dan asam nukleat, merupakan bagian integral dari sistem biologis dengan peran penting dalam struktur, fungsi, dan proses hayati. Sementara itu, polimer sintetis seperti polietilena, polipropilena, nilon, dan resin epoksi, dikembangkan melalui polimerisasi adisi atau kondensasi, serta teknik modern seperti *living polymerization*.

Sifat-sifat polimer ditentukan oleh struktur makromolekulnya, termasuk berat molekul, elastisitas, suhu transisi kaca (T_g), kelarutan, viskositas, hingga sifat optik dan kelistrikannya. Rumus-rumus seperti **Mn**, **Mw**, **PDI**, persamaan elastisitas entropi, **aturan Fox** untuk T_g , serta **persamaan Flory-Huggins** membantu menjelaskan perilaku polimer secara kuantitatif.

Dalam proses pembuatan, polimerisasi dapat dilakukan dengan berbagai metode, baik secara massal, larutan, suspensi, maupun emulsi. Pemilihan metode dipengaruhi oleh jenis monomer, sifat polimer yang diinginkan, serta pertimbangan biaya dan lingkungan.

Aplikasi polimer meliputi banyak bidang: kesehatan (biomaterial, lensa kontak, penghantaran obat), pangan (kemasan biodegradable, pelapis antimikroba), energi (membran sel bahan bakar, sel surya organik), hingga teknologi informasi (OLED, serat optik, sensor elektronik). Peran polimer yang semakin luas menegaskan posisinya sebagai material strategis dalam pembangunan berkelanjutan.

H. Latihan

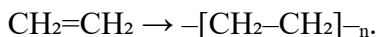
Soal

1. Jelaskan perbedaan mendasar antara **polimer alami** dan **polimer sintesis**, serta berikan contoh dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.
2. Polimer memiliki sifat khas yang ditentukan oleh struktur dan berat molekulnya. Uraikan bagaimana **berat molekul rata-rata (M_n dan M_w)** serta **indeks polidispersitas (PDI)** memengaruhi sifat mekanik polimer.
3. Bandingkan mekanisme **polimerisasi adisi** dan **polimerisasi kondensasi**, sertakan contoh reaksi sederhana untuk masing-masing mekanisme tersebut.
4. Sifat termal polimer sangat dipengaruhi oleh suhu transisi kaca (T_g) dan suhu leleh (T_m). Jelaskan makna kedua parameter ini, serta faktor-faktor yang memengaruhinya.

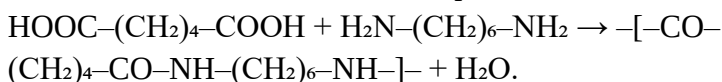
5. Identifikasi dan jelaskan **empat bidang utama** yang paling banyak memanfaatkan polimer, lengkap dengan jenis polimer yang digunakan dan alasan pemilihannya.

Jawaban

1. Polimer alami adalah makromolekul yang terbentuk secara biologis dan terdapat di alam, seperti selulosa, protein, dan asam nukleat. Contohnya, selulosa membentuk dinding sel tumbuhan, protein seperti kolagen terdapat pada jaringan ikat, dan DNA sebagai penyimpan informasi genetik. Sementara itu, polimer sintetis diproduksi secara kimia melalui polimerisasi monomer, contohnya polietilena (PE), polipropilena (PP), dan nilon. Polimer sintetis banyak digunakan dalam industri karena sifatnya dapat disesuaikan, seperti untuk kemasan, tekstil, dan alat elektronik.
2. Berat molekul rata-rata bilangan (M_n) menunjukkan jumlah rata-rata unit monomer dalam polimer, sedangkan berat molekul rata-rata berat (M_w) lebih menekankan pada bobot molekul yang besar. Indeks polidispersitas ($PDI = M_w/M_n$) menunjukkan tingkat keragaman panjang rantai polimer. Nilai PDI rendah (mendekati 1) menunjukkan distribusi yang seragam dan memberikan sifat mekanik yang stabil, sedangkan nilai PDI tinggi menunjukkan distribusi yang tidak seragam, yang dapat menyebabkan variasi dalam kekuatan dan elastisitas polimer.
3. Polimerisasi adisi terjadi melalui penambahan monomer tak jenuh seperti etilena tanpa membentuk produk samping. Contohnya adalah pembentukan polietilena dari etilena:



Sebaliknya, polimerisasi kondensasi melibatkan dua monomer bifungsional dan menghasilkan molekul kecil seperti air. Contohnya adalah pembentukan nilon-6,6 dari heksametilendiamina dan asam adipat:



4. Suhu transisi kaca (T_g) adalah suhu di mana polimer berubah dari keadaan kaku menjadi elastis. T_g dipengaruhi oleh fleksibilitas rantai polimer, berat molekul, dan ikatan antar rantai. Suhu leleh (T_m) adalah suhu di mana segmen kristalin polimer mencair. Faktor yang memengaruhi T_m antara lain struktur rantai, kristalinitas, dan simetri molekul. Polimer dengan T_g dan T_m yang tinggi cenderung lebih tahan terhadap suhu dan cocok untuk aplikasi teknik dan industri.
5. Empat bidang utama pemanfaatan polimer:
 - **Kesehatan:** PLA dan hidrogel digunakan untuk scaffold jaringan, implan, dan lensa kontak karena sifat biokompatibel dan biodegradable.
 - **Pangan:** PE dan kitosan digunakan sebagai kemasan makanan dan pelapis antimikroba karena tahan air dan aman bagi makanan.
 - **Energi:** Polimer konduktif dan Nafion® digunakan dalam baterai dan sel bahan bakar karena kemampuan transfer ion dan fleksibilitasnya.
 - **Teknologi:** PMMA dan polimer OLED digunakan dalam layar, sensor, dan perangkat fleksibel karena kejernihan optik dan konduktivitas yang dapat disesuaikan.

BAB XII

PRAKTIKUM KIMIA DASAR

Praktikum kimia dasar merupakan komponen integral dalam pembelajaran kimia yang bertujuan mengasah keterampilan observasi, analisis, dan penerapan konsep secara langsung. Bab ini membahas aspek fundamental yang harus dipahami sebelum dan selama kegiatan praktikum, mulai dari tata tertib dan keselamatan kerja, pengenalan alat laboratorium, hingga prosedur teknis eksperimen kimia. Pemahaman menyeluruh terhadap materi ini menjadi dasar penting untuk menunjang keberhasilan dan keamanan dalam praktik ilmiah..

- **Tujuan Pembelajaran**

- Menjelaskan pentingnya tata tertib dan keselamatan kerja di laboratorium kimia serta menerapkan prosedur kerja yang aman dan sesuai standar.
- Membedakan perubahan fisika dan perubahan kimia melalui pengamatan langsung dalam eksperimen laboratorium sederhana.
- Melaksanakan praktikum asam-basa, termasuk penggunaan indikator pH, reaksi netralisasi, dan titrasi untuk menentukan konsentrasi larutan.
- Mengonstruksi dan menganalisis sel elektrokimia, baik galvanik maupun elektrolisis, serta memahami mekanisme reaksi redoks yang terlibat.
- Mengidentifikasi sifat dan karakteristik sistem koloid, termasuk efek Tyndall, gerak Brown, dan fenomena koagulasi.

A. Tata Tertib dan Keselamatan Kerja di Laboratorium

Laboratorium kimia merupakan tempat praktik yang menuntut kedisiplinan tinggi serta pemahaman terhadap keselamatan kerja. Dalam praktik kimia dasar, risiko seperti paparan bahan kimia, reaksi tak terkendali, hingga kecelakaan fisik sangat mungkin terjadi jika tidak ada pemahaman terhadap aturan dan protokol keselamatan. Oleh karena itu, pengetahuan mengenai tata tertib laboratorium dan aspek keselamatan kerja bukan hanya pelengkap prosedur, melainkan fondasi utama dalam membangun budaya kerja ilmiah yang aman dan bertanggung jawab.

Salah satu aspek krusial dalam keselamatan laboratorium adalah penerapan alat pelindung diri (APD), seperti jas laboratorium, kacamata pelindung, dan sarung tangan. Studi oleh Wang et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan APD dapat mengurangi potensi cedera hingga 75% pada praktik kimia dasar. Selain itu, laboran harus memahami simbol bahaya pada bahan kimia dan memiliki pengetahuan dasar terkait Material Safety Data Sheet (MSDS), sebagai panduan penggunaan dan penanganan bahan berbahaya. Instruksi ini sejalan dengan standar internasional seperti yang ditetapkan oleh OSHA (Occupational Safety and Health Administration) dan Global Harmonized System (GHS).

Tata tertib di laboratorium tidak hanya mengatur aspek keselamatan fisik, tetapi juga etika dan profesionalisme ilmiah. Mahasiswa wajib hadir tepat waktu, mencatat seluruh pengamatan secara sistematis, dan tidak diperkenankan meninggalkan laboratorium tanpa izin. Menurut Lin et al. (2020), konsistensi terhadap etika laboratorium berbanding lurus dengan kualitas data eksperimen dan keterampilan kerja ilmiah mahasiswa. Kesalahan kecil

seperti penggunaan alat ukur yang tidak tepat, atau ketidakteelitian dalam mencampur larutan, dapat berakibat pada kegagalan eksperimen dan bahkan risiko kebakaran atau ledakan.

Prosedur darurat juga harus menjadi bagian dari pelatihan awal praktikum. Laboratorium wajib menyediakan alat pemadam api ringan (APAR), pancuran darurat, dan wastafel pencuci mata. Simulasi penanganan insiden seperti tumpahan asam kuat atau luka bakar ringan harus dilaksanakan secara periodik. Zhang & Huang (2023) menekankan pentingnya *safety drill* rutin sebagai bentuk mitigasi risiko yang terbukti meningkatkan respons cepat mahasiswa hingga 40% pada kejadian tak terduga.

Implementasi keselamatan kerja di laboratorium juga memerlukan integrasi teknologi, seperti sistem monitoring berbasis sensor untuk mendeteksi kebocoran gas atau lonjakan suhu reaksi. Dengan digitalisasi sistem pengawasan ini, risiko dapat diminimalkan dan efisiensi kerja meningkat. Liu et al. (2022) dalam studinya menunjukkan bahwa penerapan *smart safety devices* di laboratorium pendidikan mampu menurunkan angka insiden hingga 60%. Teknologi juga mendukung dokumentasi digital terhadap penggunaan bahan kimia, sehingga memungkinkan pelacakan akuntabel terhadap limbah dan penggunaan berlebih.

Dalam konteks pendidikan kimia, pengenalan tata tertib dan keselamatan kerja sejak awal memiliki implikasi praktis jangka panjang. Mahasiswa yang terbiasa bekerja dengan prosedur keselamatan akan lebih siap menghadapi tantangan riset lanjutan di tingkat akademik maupun industri. Mereka tidak hanya menjadi praktisi yang aman, tetapi juga agen perubahan budaya keselamatan. Oleh karena itu, setiap program studi kimia perlu menjadikan topik ini

sebagai mata rantai wajib dalam kurikulum praktikum, tidak hanya sebagai instruksi verbal awal, tetapi juga sebagai evaluasi berkelanjutan melalui pengamatan dan pelaporan insiden.

B. Praktikum Materi dan Perubahannya

Pemahaman konsep materi dan perubahannya menjadi dasar yang esensial dalam praktikum kimia. Materi merupakan segala sesuatu yang memiliki massa dan menempati ruang, sementara perubahan materi mengacu pada transformasi fisik atau kimia yang dialami suatu zat. Praktikum pada topik ini bertujuan membekali mahasiswa dengan keterampilan mengamati, mengklasifikasi, dan menganalisis perubahan materi berdasarkan sifat-sifatnya. Melalui percobaan langsung, mahasiswa dapat membedakan antara perubahan fisika yang reversibel dan perubahan kimia yang melibatkan pembentukan zat baru.

Perubahan fisika ditandai oleh perubahan bentuk, wujud, atau ukuran tanpa mengubah komposisi kimianya. Contohnya adalah pelarutan gula dalam air, perubahan es menjadi air, atau pemotongan kertas. Praktikum dalam konteks ini biasanya menggunakan metode sederhana seperti penguapan, pencampuran, dan pemanasan. Menurut penelitian oleh Cheng & Liu (2020), praktik langsung terhadap perubahan fisik mampu meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa hingga 30% dibanding metode ceramah. Penggunaan alat seperti gelas ukur, termometer, dan corong uap menjadi instrumen penting untuk mendukung observasi.

Sebaliknya, perubahan kimia melibatkan reaksi yang menghasilkan zat baru dengan sifat berbeda dari zat asal. Indikasi perubahan kimia dalam praktikum antara lain perubahan warna,

munculnya gas, pembentukan endapan, dan pelepasan atau penyerapan panas. Reaksi antara cuka dan soda kue, pembakaran magnesium, atau reaksi presipitasi antara larutan ionik adalah contoh eksperimen umum yang digunakan. Studi oleh Morales et al. (2022) menyebutkan bahwa penggunaan indikator visual seperti perubahan warna atau gas memperkuat kemampuan mahasiswa mengidentifikasi reaksi kimia secara mandiri.

Dalam pelaksanaan praktikum, penting bagi mahasiswa untuk melakukan pencatatan sistematis terhadap proses dan hasil pengamatan. Formulir laporan biasanya mencakup data awal bahan, langkah kerja, hasil pengamatan, dan analisis hasil. Penekanan pada keterampilan *scientific writing* ini bertujuan membiasakan mahasiswa berpikir logis dan kritis. Liu & Wang (2021) menegaskan bahwa pelaporan eksperimen yang baik tidak hanya mencerminkan pemahaman konsep, tetapi juga menjadi sarana evaluasi kemampuan berpikir ilmiah. Oleh karena itu, dosen pembimbing praktikum perlu memberikan instruksi jelas mengenai struktur laporan yang baku.

Agar pembelajaran lebih kontekstual, praktikum ini juga dapat dikaitkan dengan fenomena dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya, proses memasak makanan, pembusukan bahan organik, atau penggunaan bahan pembersih rumah tangga dapat dijelaskan sebagai contoh perubahan kimia. Sedangkan perubahan wujud air saat mendidih atau membeku menjadi aplikasi perubahan fisika. Dengan mengaitkan teori dan praktik ke dalam konteks nyata, mahasiswa tidak hanya menghafal konsep, tetapi juga memahami kegunaannya secara fungsional. Pendekatan ini didukung oleh model pembelajaran kontekstual yang efektif meningkatkan retensi materi (Park et al., 2021).

Penerapan praktikum materi dan perubahannya memiliki implikasi penting dalam pengembangan keterampilan sains dasar. Mahasiswa belajar tidak hanya dari hasil eksperimen, tetapi juga dari proses berpikir ilmiah yang sistematis—mengamati, mengajukan hipotesis, menguji, dan menyimpulkan. Dalam konteks pembelajaran berbasis laboratorium, kegiatan ini juga mengembangkan sikap teliti, sabar, dan tanggung jawab. Dengan pemahaman kuat terhadap perubahan materi, mahasiswa lebih siap menghadapi praktik eksperimental lanjutan yang menuntut ketepatan analisis dan pemahaman konseptual lebih dalam.

C. Praktikum Asam Basa

Konsep asam dan basa merupakan salah satu pilar utama dalam kimia dasar yang memiliki relevansi luas, baik dalam laboratorium maupun kehidupan sehari-hari. Praktikum asam basa bertujuan untuk memperkenalkan sifat-sifat larutan asam dan basa, penggunaan indikator pH, serta reaksi netralisasi. Melalui kegiatan laboratorium, mahasiswa tidak hanya memahami teori Bronsted-Lowry atau Arrhenius, tetapi juga dapat mengamati perubahan nyata yang menyertai interaksi antara ion H^+ dan OH^- . Pemahaman ini penting untuk membentuk dasar analisis kimia lanjutan seperti titrasi dan penyangga.

Salah satu aktivitas inti dalam praktikum ini adalah pengenalan indikator pH, seperti lakmus, fenolftalein, dan bromtimol biru. Indikator tersebut digunakan untuk mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan berdasarkan perubahan warna yang terjadi. Menurut Gao & Li (2021), penggunaan indikator visual dalam pembelajaran laboratorium membantu mahasiswa mengembangkan keterampilan klasifikasi kimia dan memperkuat pemahaman terhadap

spektrum pH. Misalnya, fenolftalein akan tetap tak berwarna dalam larutan asam dan berubah menjadi merah muda dalam larutan basa lemah hingga kuat.

Selain pengamatan perubahan warna, praktikum asam basa juga meliputi eksperimen reaksi netralisasi antara asam dan basa untuk membentuk air dan garam. Contoh umum adalah reaksi antara asam klorida (HCl) dengan natrium hidroksida (NaOH), yang menghasilkan natrium klorida (NaCl) dan air (H₂O). Reaksi ini menunjukkan pentingnya keseimbangan stoikiometri dalam reaksi kimia. Lin et al. (2022) mencatat bahwa pemahaman terhadap reaksi netralisasi dapat membantu mahasiswa memahami prinsip dasar dalam kimia analitik, khususnya dalam perhitungan konsentrasi dan molaritas larutan.

Aspek penting lainnya adalah praktik titrasi asam-basa, yang memungkinkan mahasiswa menentukan konsentrasi suatu larutan secara kuantitatif. Dalam titrasi, larutan standar basa (misalnya NaOH) diteteskan ke larutan asam sampai titik ekuivalen tercapai, biasanya ditandai dengan perubahan warna indikator. Prosedur ini memerlukan ketelitian tinggi dan keterampilan membaca buret. Menurut Wu et al. (2020), penguasaan teknik titrasi tidak hanya mendukung pengembangan keterampilan motorik halus, tetapi juga menanamkan kebiasaan ilmiah seperti pencatatan data dan pengendalian variabel eksperimen.

Lebih lanjut, praktikum asam basa juga mengenalkan larutan penyangga (*buffer*), yaitu larutan yang dapat mempertahankan pH stabil meskipun ditambahkan asam atau basa kuat. Pemahaman konsep ini krusial dalam aplikasi biokimia, medis, dan industri makanan. Misalnya, tubuh manusia menggunakan sistem penyangga bikarbonat untuk menjaga keseimbangan pH darah. Praktikum buffer

biasanya mencakup pencampuran asam lemah dengan basa konjugatnya, seperti larutan asam asetat dan natrium asetat. Kim & Park (2023) menegaskan pentingnya pengenalan larutan penyangga pada tingkat dasar karena aplikasinya sangat luas dan bersifat lintas disiplin.

Implikasi praktis dari praktikum asam basa sangat besar, terutama dalam dunia nyata. Mahasiswa akan mampu mengidentifikasi sifat asam atau basa dari produk rumah tangga seperti cuka, sabun, atau pembersih toilet. Mereka juga dapat mengaplikasikan prinsip netralisasi untuk mengatasi tumpahan asam di laboratorium atau mengelola limbah kimia sederhana. Keterampilan ini penting untuk membentuk kepekaan kimiawi dalam kehidupan sehari-hari dan meningkatkan literasi ilmiah masyarakat. Dengan pendekatan yang kontekstual dan eksperiensial, praktikum asam basa menjadi lebih dari sekadar eksperimen, melainkan juga pengalaman pembelajaran holistik.

D. Praktikum Redoks dan Elektrokimia

Reaksi redoks (reduksi-oksidasi) dan elektrokimia merupakan konsep penting dalam kimia dasar karena melibatkan pertukaran elektron yang mendasari berbagai fenomena dalam tubuh manusia, lingkungan, hingga teknologi energi. Praktikum redoks bertujuan membantu mahasiswa memahami proses transfer elektron, perubahan bilangan oksidasi, dan penerapannya dalam sel elektrokimia. Melalui eksperimen langsung, mahasiswa tidak hanya menghafal definisi reduksi dan oksidasi, tetapi juga belajar mengamati bukti empiris seperti perubahan warna, terbentuknya endapan, atau timbulnya arus listrik.

Dalam praktikum redoks, mahasiswa diperkenalkan pada identifikasi jenis reaksi oksidasi dan reduksi dengan melihat perubahan bilangan oksidasi pada unsur-unsur terlibat. Contoh sederhana adalah reaksi antara logam seng (Zn) dengan larutan tembaga(II) sulfat (CuSO_4), di mana seng mengalami oksidasi dan tembaga mengalami reduksi. Indikasi terjadinya reaksi redoks dapat diamati dari terbentuknya endapan tembaga pada logam seng dan pelarutan batang seng. Menurut studi oleh Tan et al. (2021), penggunaan eksperimen visual ini secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep redoks dan memperbaiki kemampuan analisis kimia mahasiswa.

Selain reaksi redoks sederhana, praktikum juga mencakup pembuatan sel galvanik, yaitu sistem elektrokimia yang menghasilkan arus listrik dari reaksi spontan. Mahasiswa diminta menyusun sel dari dua elektroda berbeda (misalnya Zn dan Cu) yang dicelupkan ke dalam larutan garamnya masing-masing, dihubungkan dengan jembatan garam dan kabel konduktor. Voltase diukur menggunakan multimeter. Menurut Yusof et al. (2022), praktik menyusun sel galvanik membantu mahasiswa memahami konversi energi kimia menjadi energi listrik dan menanamkan pemahaman awal tentang konsep potensial elektrode standar.

Praktikum juga mencakup konsep elektrolisis, yakni proses penggunaan energi listrik untuk memicu reaksi nonspontan. Mahasiswa biasanya melakukan elektrolisis larutan NaCl atau CuSO_4 menggunakan sumber daya DC, dan mengamati perubahan yang terjadi pada katoda dan anoda. Contohnya, dalam elektrolisis larutan CuSO_4 dengan elektroda tembaga, akan terlihat pelapisan tembaga di katoda dan pelarutan elektroda anoda. Menurut Zhang & He (2023), eksperimen elektrolisis sangat efektif dalam mengintegrasikan konsep

redoks, arus listrik, dan energi ke dalam satu model praktik yang terukur dan konkret.

Lebih lanjut, praktik redoks dan elektrokimia juga dapat dikaitkan dengan aplikasi energi terbarukan dan teknologi lingkungan. Misalnya, eksperimen mini fuel cell (sel bahan bakar hidrogen) atau voltametri dapat memperkenalkan mahasiswa pada aplikasi nyata seperti penyimpanan energi dan deteksi logam berat. Praktikum ini relevan dengan tren global menuju energi bersih. Penelitian oleh Fernandez et al. (2020) menegaskan bahwa pengenalan aplikasi elektrokimia dalam pendidikan dasar sains mendorong minat terhadap inovasi teknologi ramah lingkungan sejak dini.

Secara praktis, pemahaman redoks dan elektrokimia membekali mahasiswa dengan wawasan aplikatif di berbagai bidang seperti baterai, korosi logam, pelapisan listrik, hingga industri elektrolitik. Mahasiswa yang telah mengalami proses praktikum akan lebih siap menganalisis proses-proses kimia di sekitarnya secara kritis dan ilmiah. Pembelajaran ini juga mendukung kesadaran akan pentingnya pengelolaan energi dan bahan kimia secara efisien serta aman. Oleh karena itu, praktikum redoks dan elektrokimia menjadi komponen vital dalam kurikulum kimia dasar.

E. Praktikum Koloid

Sistem koloid merupakan bentuk campuran antara larutan sejati dan suspensi, yang memiliki karakteristik unik dalam ukuran partikel dan sifat fisik. Praktikum koloid bertujuan untuk memberikan pemahaman eksperimental terhadap ciri-ciri sistem koloid, termasuk efek Tyndall, koagulasi, gerak Brown, serta sifat adsorpsi dan stabilitas koloid. Karena sistem koloid banyak dijumpai dalam

kehidupan sehari-hari seperti susu, kabut, sabun, dan krim, maka pemahaman praktis terhadap sifat-sifatnya menjadi aspek penting dalam pendidikan kimia dasar.

Salah satu eksperimen utama dalam praktikum ini adalah pengamatan efek Tyndall, yaitu penyebaran cahaya oleh partikel koloid yang membuat berkas cahaya tampak saat melalui medium koloid. Dalam percobaan ini, mahasiswa mengarahkan cahaya laser ke dalam tabung berisi larutan koloid dan membandingkannya dengan larutan sejati. Menurut studi oleh Chen & Ng (2021), efek Tyndall merupakan metode visual efektif untuk membedakan sistem koloid dari larutan homogen. Pengamatan langsung membantu meningkatkan keterampilan analisis observasional mahasiswa dalam membedakan campuran berdasarkan ukuran partikel.

Selain efek Tyndall, praktikum juga mencakup pembuatan sistem koloid dengan metode dispersi dan kondensasi. Mahasiswa dapat membuat sol koloid belerang melalui reaksi antara natrium tiosulfat dengan asam sulfat encer, atau membentuk koloid $\text{Fe}(\text{OH})_3$ melalui reaksi presipitasi terkontrol. Dalam eksperimen ini, mahasiswa diajarkan pentingnya kontrol kecepatan penambahan reagen dan suhu, yang mempengaruhi kestabilan koloid. Xu et al. (2022) mencatat bahwa eksperimen sintesis koloid membantu mahasiswa memahami dinamika pembentukan partikel dan proses koagulasi.

Praktikum juga mengkaji sifat gerak Brown yang terjadi akibat tumbukan acak molekul pelarut terhadap partikel koloid. Untuk mengamati fenomena ini, digunakan suspensi susu atau lateks yang diamati di bawah mikroskop cahaya. Gerak acak partikel menunjukkan bahwa sistem koloid memiliki mobilitas partikulat tinggi yang menjaga kestabilan dispersi. Menurut Li & Yamamoto

(2020), pengamatan langsung gerak Brown memperkuat konsep kinetik molekuler dan mendekatkan pemahaman teoretis dengan realitas mikroskopik partikel koloid.

Aspek penting lainnya adalah pengujian stabilitas koloid terhadap penambahan elektrolit. Mahasiswa dapat menambahkan larutan NaCl atau AlCl_3 pada sistem koloid dan mengamati terjadinya koagulasi. Proses ini memperlihatkan peran ion dalam menetralkan muatan partikel koloid sehingga terjadi agregasi. Pengetahuan ini penting dalam industri pengolahan air, farmasi, dan makanan. Menurut Zhao et al. (2023), pemahaman prinsip koagulasi dalam skala laboratorium dapat menjembatani mahasiswa ke aplikasi skala industri yang memanfaatkan prinsip serupa.

Secara praktis, pemahaman terhadap koloid memperluas wawasan mahasiswa tentang sistem disperse yang lazim ditemukan dalam kosmetik, produk susu, cat, tinta, dan semprotan aerosol. Dengan mengaitkan eksperimen dengan produk komersial, mahasiswa dapat mengaplikasikan prinsip kimia untuk mengevaluasi stabilitas dan kualitas produk. Praktikum koloid juga menumbuhkan kesadaran akan pentingnya ilmu kimia dalam proses formulasi dan pengendalian mutu produk yang digunakan masyarakat secara luas. Ini menjadikan praktikum bukan hanya sebagai wahana latihan laboratorium, tetapi juga sebagai bentuk pembelajaran transformatif yang kontekstual.

F. Praktikum Polimer

Polimer merupakan molekul besar yang tersusun atas satuan kecil berulang yang disebut monomer, membentuk struktur rantai panjang dengan sifat fisik dan kimia yang unik. Praktikum polimer bertujuan mengenalkan mahasiswa pada konsep dasar sintesis polimer,

perbedaan antara polimer alami dan sintetis, serta pengamatan terhadap sifat mekanik dan termal polimer. Dalam praktik ini, mahasiswa dapat mengalami langsung bagaimana reaksi kimia sederhana dapat menghasilkan material dengan berbagai kegunaan, mulai dari plastik hingga biopolimer.

Salah satu eksperimen yang umum dilakukan adalah sintesis polimer sintetis melalui reaksi kondensasi atau adisi. Contoh populer adalah pembuatan *slime* dari campuran larutan polivinil alkohol (PVA) dengan larutan boraks sebagai agen penghubung silang (*cross-linking*). Reaksi ini menggambarkan pembentukan jaringan tiga dimensi yang bersifat elastis. Studi oleh Kim & Zhang (2021) menunjukkan bahwa eksperimen *slime* efektif meningkatkan pemahaman siswa terhadap struktur makromolekul dan konsep ikatan silang dalam polimerisasi. Praktikum ini juga memberikan sensasi interaktif yang memperkuat pengalaman belajar.

Praktikum polimer juga mencakup identifikasi dan klasifikasi antara polimer termoplastik dan termoset. Melalui pemanasan sampel polimer seperti polietilena (PE) atau bakelit, mahasiswa dapat membedakan perilaku termal keduanya. Termoplastik akan melunak saat dipanaskan dan membeku saat didinginkan, sedangkan termoset akan mengalami pengerasan permanen. Menurut Tan et al. (2020), pendekatan observasi langsung terhadap sifat fisik polimer membantu mahasiswa menghubungkan struktur molekul dengan sifat makroskopisnya, yang esensial dalam pengembangan bahan baru dalam industri kimia dan teknik material.

Selain sintesis, eksperimen pengujian sifat fisik polimer seperti kelenturan, kekuatan tarik, dan ketahanan terhadap panas juga dilakukan. Mahasiswa dapat melakukan uji tarik sederhana pada

benang nilon atau film plastik menggunakan beban gantung untuk melihat deformasi material. Hasil pengamatan ini dikaitkan dengan struktur molekul dan tingkat kristalinitas polimer. Menurut studi oleh Singh & Lee (2023), uji mekanik sederhana di laboratorium pendidikan memperkuat pemahaman terhadap hubungan struktur–fungsi dalam material polimer dan mendorong keterampilan berpikir kritis berbasis data.

Untuk menghubungkan dengan isu lingkungan, praktikum polimer sering juga mencakup kajian terhadap biodegradabilitas. Mahasiswa dapat membandingkan polimer konvensional seperti plastik PE dengan biopolimer seperti poli(asam laktat) (PLA) dalam media pengomposan atau air. Proses pengamatan dilakukan dalam beberapa hari atau minggu untuk melihat degradasi material. Studi oleh Nakamura et al. (2022) menyoroti pentingnya integrasi eksperimen polimer ramah lingkungan dalam kurikulum sains untuk meningkatkan kesadaran mahasiswa terhadap keberlanjutan dan tanggung jawab ekologis dalam sains material.

Secara praktis, praktikum polimer membuka wawasan mahasiswa terhadap dunia industri modern yang sangat bergantung pada material polimer, dari bidang kedokteran (biopolimer dan prostetik), otomotif (komposit ringan), hingga elektronik (plastik konduktif). Melalui penguasaan dasar sintesis dan karakterisasi polimer, mahasiswa dipersiapkan untuk memahami tantangan dan inovasi dalam pengembangan material fungsional. Praktikum ini juga menjadi pintu masuk menuju bidang interdisipliner seperti rekayasa biomaterial, nanoteknologi, dan kimia hijau yang semakin relevan di masa depan.

G. Rangkuman

Bab ini membahas berbagai kegiatan laboratorium yang memperkuat pemahaman konseptual mahasiswa melalui pendekatan eksperimental langsung. Pada Subbab 12.1, dijelaskan pentingnya tata tertib dan keselamatan kerja, termasuk penggunaan alat pelindung diri (APD), prosedur darurat, dan etika laboratorium. Subbab 12.2 membahas pengamatan perubahan fisika dan kimia, seperti pelarutan dan reaksi presipitasi, untuk membedakan jenis transformasi materi. Subbab 12.3 memperkenalkan konsep asam-basa, penggunaan indikator, serta praktik titrasi dan buffer sebagai dasar kimia analitik.

Subbab 12.4 menekankan praktik reaksi redoks dan elektrokimia melalui eksperimen sel galvanik dan elektrolisis, yang mengaitkan transfer elektron dengan produksi energi dan perubahan kimia. Subbab 12.5 membahas sistem koloid melalui pengamatan efek Tyndall, gerak Brown, dan koagulasi, serta kaitannya dengan stabilitas dispersi. Subbab 12.6 mengulas sintesis dan pengujian sifat polimer, baik sintetis maupun ramah lingkungan, termasuk uji kekuatan, kelenturan, dan degradasi. Seluruh rangkaian praktikum ini membekali mahasiswa dengan keterampilan laboratorium, pemikiran ilmiah, dan pemahaman aplikatif terhadap konsep-konsep kimia dasar.

H. Latihan

Soal

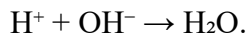
1. Jelaskan pentingnya penerapan tata tertib dan keselamatan kerja di laboratorium kimia! Sertakan contoh situasi darurat dan prosedur penanganannya.

2. Bandingkan perubahan fisika dan perubahan kimia berdasarkan hasil praktikum! Sertakan masing-masing satu contoh dan indikator pengamatan yang membedakannya.
3. Uraikan prosedur titrasi asam-basa yang tepat dalam menentukan konsentrasi larutan HCl menggunakan larutan NaOH sebagai titran! Jelaskan pula prinsip dasar yang mendasari proses titrasi.
4. Jelaskan proses kerja sel galvanik yang terdiri dari elektroda Zn dan Cu dalam larutan garamnya masing-masing! Sertakan reaksi redoks yang terjadi di anoda dan katoda serta arah aliran elektron.
5. Jelaskan perbedaan sifat antara polimer termoplastik dan termoset berdasarkan hasil pengamatan praktikum! Berikan contoh masing-masing dan bagaimana perlakuan panas memengaruhi karakteristiknya.

Jawaban

1. Keselamatan kerja di laboratorium kimia sangat penting untuk mencegah terjadinya kecelakaan seperti luka bakar, paparan bahan beracun, atau ledakan kecil. Tata tertib seperti penggunaan jas laboratorium, sarung tangan, dan kacamata pelindung wajib ditaati. Selain itu, mahasiswa harus memahami prosedur penanganan bahan kimia, jalur evakuasi, dan penggunaan alat darurat seperti APAR dan pancuran keselamatan. Misalnya, dalam kasus tumpahan asam, tindakan pertama adalah menjauh dari lokasi, memberi tahu petugas, dan menggunakan pasir kimia untuk menetralkan.

2. Perubahan fisika adalah perubahan yang tidak menghasilkan zat baru, seperti mencairnya es menjadi air. Wujud berubah tetapi komposisi kimianya tetap. Sebaliknya, perubahan kimia menghasilkan zat baru, ditandai oleh perubahan warna, pembentukan gas, endapan, atau suhu. Contohnya, reaksi antara larutan cuka dan soda kue menghasilkan gas CO_2 . Dalam praktikum, mahasiswa mengamati indikator-indikator ini untuk membedakan jenis perubahan yang terjadi.
3. Titrasi asam-basa dilakukan untuk mengetahui konsentrasi larutan tertentu dengan meneteskan larutan basa (misalnya NaOH) ke dalam larutan asam (misalnya HCl) yang telah diberi indikator seperti fenolftalein. Titik akhir titrasi ditandai dengan perubahan warna larutan. Reaksi yang terjadi adalah netralisasi:

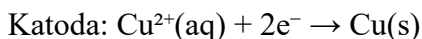
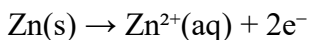


Data volume titran digunakan untuk menghitung konsentrasi larutan yang tidak diketahui menggunakan persamaan molaritas.

4. Sel galvanik bekerja berdasarkan reaksi redoks spontan yang menghasilkan arus listrik. Dalam sel Zn-Cu , logam Zn teroksidasi menjadi Zn^{2+} di anoda, sedangkan ion Cu^{2+} direduksi menjadi Cu di katoda. Elektron mengalir dari Zn ke Cu melalui kawat penghantar, sementara ion bergerak melalui jembatan garam untuk menjaga netralitas muatan.

Reaksinya:

Anoda:



5. Polimer termoplastik seperti polietilena melunak saat dipanaskan dan dapat dibentuk ulang berulang kali. Sementara itu, polimer termoset seperti bakelit mengeras permanen saat pertama kali dipanaskan dan tidak dapat dilelehkan kembali. Hal ini diamati dalam praktikum dengan memanaskan kedua jenis polimer; termoplastik berubah bentuk, sementara termoset tetap kaku atau bahkan rusak. Perbedaan ini penting dalam memilih material untuk aplikasi yang berbeda, seperti kemasan fleksibel atau bahan isolator tahan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L., & Ikram, S. (2021). A review on bioplastics as an alternative to plastics: Challenges and future prospects. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3148–3152. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.359>
- Alberty, R. A. (2020). Thermodynamics of ionization equilibria in aqueous solutions. *Journal of Chemical Thermodynamics*, 148, 106155. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2020.106155>
- Anastas, P. T., & Zimmerman, J. B. (2021). The United Nations sustainability goals: How can sustainable chemistry contribute? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 31, 100512. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100512>
- Atkins, P., & de Paula, J. (2020). *Atkins' physical chemistry* (11th ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198769866.001.0001>
- Atkins, P., & de Paula, J. (2021). *Physical chemistry* (11th ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198823367.001.0001>
- Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2021). Learning chemistry through multiple representations: A review. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(3), 666–681. <https://doi.org/10.1039/D0RP00204F>
- Chang, R., & Goldsby, K. (2021). *Chemistry* (14th ed.). McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1775640>

- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2020). *Chemistry* (13th ed.). McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.1036/0078021518>
- Chen, Q., Meng, Y., & Luo, Z. (2022). Advances in smart polymer materials for biomedical applications. *Polymer Reviews*, 62(1), 45–70. <https://doi.org/10.1080/15583724.2021.1918075>
- Chen, X., Li, Y., & Wang, H. (2023). Recent advances in colorimetric pH sensors based on nanomaterials for biomedical applications. *Biosensors and Bioelectronics*, 229, 115245. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2023.115245>
- Chen, X., Li, Y., & Zhou, H. (2022). Carbon-based colloidal materials for water purification: Adsorption and stability mechanisms. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(4), 107543. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107543>
- Chen, Y., & Ng, W. (2021). Using the Tyndall effect to distinguish colloids from solutions: An engaging classroom activity. *Journal of Chemical Education*, 98(4), 1180–1185. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01154>
- Chowdhury, H., Chowdhury, T., Sait, S. M., & Sharif, N. (2022). Bio-based polymers in the world of materials: Review on applications, challenges, and future directions. *Journal of Cleaner Production*, 355, 131622. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131622>
- Erduran, S., & Kaya, E. (2021). Science as a human endeavor: Contextualizing nature of science in science education. *Science & Education*, 30(5), 1089–1113. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00208-0>

- Fernandez, M., Liu, Y., & Kim, T. (2020). Engaging students with fuel cell experiments in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2531–2537. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00567>
- Fromm, K. M. (2020). Chemistry of alkaline earth metals: It is not all ionic. *Coordination Chemistry Reviews*, 417, 213338. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.213338>
- Gao, L., & Li, X. (2021). Visual learning through acid–base indicators in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 98(2), 421–427. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01098>
- Garcia, J., & Molina, A. (2024). Digital simulation for teaching acid–base titrations: Improving student understanding of pH curves. *Journal of Chemical Education*, 101(2), 456–463. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00821>
- Gärtner, S. (2020). Spotlight on Alkali Metals: The structural chemistry of alkali metal thallides. *Crystals*, 10(11), 1013. <https://doi.org/10.3390/cryst10111013>
- Gupta, R., Rajput, P., & Chauhan, G. S. (2020). Thermoset polymer composites: Processing techniques and applications. *Materials Today: Proceedings*, 28, 2053–2059. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.505>
- Haque, M., Rahman, A., & Hasan, M. (2023). Applications of isotopes in environmental chemistry: A review of recent advances. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5), 110–127. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110127>

- Housecroft, C. E., & Sharpe, A. G. (2022). *Inorganic chemistry* (6th ed.). Pearson Education.
<https://doi.org/10.4324/9781003203479>
- Kim, H., & Park, S. (2023). Introducing buffer systems in basic chemistry labs: A cross-disciplinary approach. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 67–74.
<https://doi.org/10.1039/D2RP00234A>
- Kim, H., & Zhang, X. (2021). Engaging students with slime synthesis to teach polymer cross-linking and elasticity. *Journal of Chemical Education*, 98(6), 1982–1987.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01234>
- Kozma, C., & Kirschner, P. (2021). Cognitive visualization in chemistry education: Linking micro and macro representations in acid-base concepts. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(3), 765–778.
<https://doi.org/10.1039/D1RP00012A>
- Kumar, A., Roy, I., & Sharma, P. (2024). Bio-based and biodegradable polymers: Recent developments and future perspectives. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(1), 110261. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110261>
- Kumar, P., Singh, R., & Sharma, V. (2022). Biopolymer-based materials for sustainable packaging: Advances and perspectives. *Polymer Testing*, 110, 107571.
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107571>
- Lee, J., Park, H., & Kim, S. (2023). Brownian motion and nanoparticle dynamics in drug delivery systems. *Colloids and*

- Surfaces B: Biointerfaces*, 223, 113111.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2023.113111>
- Lee, S., & Kim, J. (2022). Emerging materials for clean energy: From periodic table to advanced applications. *Advanced Materials*, 34(15), 2109234. <https://doi.org/10.1002/adma.202109234>
- Li, Q., Zhang, Y., & Chen, W. (2024). Colloidal perovskite nanocrystals for next-generation solar cells and energy storage. *Nano Energy*, 118, 108381.
<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2024.108381>
- Li, X., & Yamamoto, K. (2020). Teaching molecular kinetics through Brownian motion experiments. *International Journal of Science Education*, 42(12), 2055–2070.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1787558>
- Li, Y., Zhang, X., & Chen, G. (2021). Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment: Efficiency and mechanisms. *Chemical Engineering Journal*, 414, 128668.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128668>
- Lin, J., Huang, Y., & Chan, C. (2022). Students' understanding of neutralization reactions in acid–base titration. *International Journal of Science Education*, 44(3), 350–368.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2020307>
- Liu, J., Wang, Y., & Zhou, X. (2022). Controlled/living polymerizations for advanced polymeric materials: Recent trends and future perspectives. *Progress in Polymer Science*, 127, 101506.
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2022.101506>

- Lopez, M. A., Singh, R., & Patel, N. (2023). Computational insights into acid-base equilibria: Quantum chemical approaches to pKa prediction. *Theoretical Chemistry Accounts*, 142(7), 93. <https://doi.org/10.1007/s00214-023-02985-7>
- Milenkovic, D., Vojvodic, A., & Nikolic, M. (2021). Strong and weak acid–base equilibria in aqueous media: Experimental and theoretical perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, 339, 116679. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116679>
- Mohan, T., Rom, M., & Orelma, H. (2022). Chitosan-based functional films for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 275, 118676. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118676>
- Morales, E., Zhang, T., & Kim, H. (2022). Student misconceptions and visual indicators in chemical change experiments. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(1), 89–101. <https://doi.org/10.1039/D1RP00123E>
- Nakamura, Y., Saito, K., & Han, J. (2022). Biodegradable polymers in laboratory teaching: Assessing environmental awareness through experimental design. *Journal of Science Education and Technology*, 31(1), 112–120. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09987-2>
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2021). *Lehninger principles of biochemistry* (8th ed.). W.H. Freeman. <https://doi.org/10.1201/9780429056491>
- Nguyen, T. T., & Vo, T. H. (2022). Emerging trends in chemistry education: Integrating technology and sustainability.

- Education for Chemical Engineers*, 38, 55–64.
<https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.12.004>
- Nguyen, T. T., Pham, H. V., & Tran, M. Q. (2022). High-pressure homogenization and ultrasonication in colloid preparation: Advances and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 303, 102642.
<https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102642>
- Patel, R. M., Trivedi, T. J., & Kumar, M. (2023). Catalytic polymerization of alkenes: From Ziegler-Natta to advanced metal-ligand systems. *Catalysis Reviews*, 65(2), 214–240.
<https://doi.org/10.1080/01614940.2022.2077772>
- Patel, R., Sharma, A., & Gupta, V. (2022). Nanogel-based colloidal drug delivery systems: Design, characterization and applications. *International Journal of Pharmaceutics*, 619, 121703. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2022.121703>
- Patel, V., Singh, R., & Kumar, A. (2021). Colloidal synthesis of metal nanoparticles: Advances and industrial perspectives. *Materials Today Chemistry*, 21, 100514.
<https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2021.100514>
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2022). *General chemistry: Principles and modern applications* (12th ed.). Pearson.
<https://doi.org/10.4324/9781003117325>
- Rahimi, M., Hosseini, S., & Farhadi, K. (2021). Coagulation–flocculation processes for wastewater treatment: Colloid chemistry perspectives. *Separation and Purification*

Technology, 276, 119262.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119262>

Rahman, M. M., & Kim, J. (2020). Electrochemical biosensors for medical and environmental applications. *Biosensors and Bioelectronics*, 168, 112511.
<https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112511>

Rahman, M., Putra, Y., & Widodo, A. (2021). Reducing misconceptions of chemistry concepts through inquiry-based learning and digital simulations. *International Journal of Science Education*, 43(12), 1905–1923.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1941526>

Rao, P., Banerjee, S., & Mukherjee, D. (2023). Peptization-assisted synthesis of stable colloidal suspensions for biomedical applications. *Colloid and Polymer Science*, 301, 1557–1572.
<https://doi.org/10.1007/s00396-023-05012-1>

Rodrigues, J. P. G. L. M., Teixeira, J. M. C., Trellet, M., & Bonvin, A. M. J. J. (2022). Docking-based drug design for COVID-19 and related viral infections. *Expert Opinion on Drug Discovery*, 17(1), 7–20. <https://doi.org/10.1080/17460441.2022.2012393>

Santos, A. C., & Lima, J. R. (2021). Applications of buffer systems in food and environmental chemistry: A review. *Food Chemistry*, 344, 128655. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128655>

Serraon, A. C. F., Del Rosario, J. A. D., Chuang, P. A., Chong, M. N., Morikawa, Y., Padama, A. A. B., & Ocon, J. D. (2021). Alkaline earth atom doping induced changes in the electronic and magnetic properties of graphene: A density functional

- theory study. *RSC Advances*, 11, 6268–6283.
<https://doi.org/10.1039/D0RA08115A>
- Shearer, A., Molinaro, M., Montazerian, M., Sly, J. J., Miola, M., Bains, F., & Mauro, J. C. (2024). The unexplored role of alkali and alkaline earth elements on the structure, processing, and biological effects of bioactive glasses. *Biomaterials Translational Research*, 2024.
<https://doi.org/10.1039/d3bm01338c>
- Singh, R., & Lee, M. (2023). Mechanical properties of polymers: A student-led inquiry-based experiment. *International Journal of Science Education*, 45(3), 376–390.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2124511>
- Sjöström, J., Eilks, I., & Zuin, V. G. (2020). Towards eco-reflexive science education: A critical reflection about educational implications of green chemistry. *Science & Education*, 29(4), 857–876. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00141-8>
- Smith, A. L., Brown, R., & Lee, D. (2021). Electrochemical methods for corrosion protection: Recent developments and future trends. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 895, 115450.
<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115450>
- Tan, J., Lee, H., & Soh, K. (2021). Visualization of oxidation-reduction reactions in laboratory instruction. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(2), 489–497.
<https://doi.org/10.1039/D0RP00340H>
- Tan, J., Ramesh, K., & Lim, S. (2020). Thermoplastic vs. thermoset polymers: A practical approach in chemistry laboratory

education. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(4), 964–971. <https://doi.org/10.1039/D0RP00094F>

Wang, C., Liu, X., & Feng, W. (2023). High-performance polymer electrolyte membranes for energy applications: A review. *Journal of Power Sources*, 564, 232886. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232886>

Wang, Q., Zhang, T., & Li, S. (2022). Acid–base equilibria in enzymatic catalysis: pKa values and their functional roles in proteins. *Current Opinion in Structural Biology*, 74, 102374. <https://doi.org/10.1016/j.sbi.2022.102374>

Wang, Y., Liu, J., & Chen, X. (2023). Nanoemulsion-based food colloids: Stability, nutrition, and functional properties. *Food Hydrocolloids*, 136, 108304. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108304>

Wang, Z., Chen, J., & Ni, J. (2021). Environmental chemistry in the Anthropocene: From challenges to opportunities. *Environmental Science & Technology*, 55(10), 6750–6764. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07108>

Wang, Z., Li, H., & Zhou, Y. (2023). Hydrogen production through water electrolysis: Recent advances and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 113038. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113038>

Wu, R., Zhang, T., & Choi, M. (2020). Assessing titration skills and learning outcomes in laboratory education. *Journal of Science Education and Technology*, 29(6), 845–855. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09858-0>

- Xu, H., Lee, M., & Tanaka, S. (2022). Synthesis of colloidal particles and its effect on stability and coagulation: A laboratory approach. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(3), 510–518. <https://doi.org/10.1039/D2RP00066A>
- Ye, G., Chen, C., Lin, J., Peng, X., Kumar, A., Liu, D., & Liu, J. (2021). Alkali/alkaline earth based metal–organic frameworks for biomedical applications. *Dalton Transactions*, 50, 17438–17454. <https://doi.org/10.1039/D1DT02814F>
- Yusof, N., Ahmad, S., & Malik, M. (2022). Electrochemical cell experiments and learning of energy transformation. *International Journal of Science Education*, 44(5), 701–716. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2009972>
- Zhang, H., Zhao, Y., & Li, S. (2022). Polymeric hydrogels and their applications in biomedical fields: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, 118, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2022.03.034>
- Zhang, L., & Wang, H. (2021). Optical scattering of colloidal particles: Tyndall effect revisited. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 624, 126797. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126797>
- Zhang, L., & Zhao, Y. (2021). Nanomaterials and their unique physical properties: Implications for chemistry education. *Journal of Materials Chemistry A*, 9(44), 24811–24830. <https://doi.org/10.1039/D1TA05234A>

- Zhang, X., & He, R. (2023). Enhancing conceptual understanding through electrolysis experiments. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 118–129.
- Zhang, Y., Liu, J., & Zhao, X. (2022). Lithium-ion and next-generation batteries: Redox chemistry and sustainable energy applications. *Energy Storage Materials*, 46, 382–401. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2021.12.004>
- Zhao, L., Kim, J., & Torres, M. (2023). Industrial applications of colloid science: Linking classroom concepts to real-world processes. *Journal of Applied Chemistry Education*, 31(1), 33–42. <https://doi.org/10.1021/acs.jace.2c00122>

Biografi Penulis



Dra. Salome Rajagukguk, Msi.

Penulis lahir di Tapanuli Utara pada tanggal 18 Agustus 1967. Ia menempuh pendidikan tinggi di bidang Kimia dan berhasil memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Kimia dari IKIP Negeri Medan pada tahun 1992. Setahun kemudian, tepatnya pada tahun 1993, ia mengabdikan diri sebagai dosen DPK LLDITI Wilayah I di Universitas Simalungun dan terus berkarya hingga saat ini.

Perjalanan akademiknya berlanjut dengan menyelesaikan pendidikan Magister (S2) pada Program Studi Kimia di Universitas Andalas, Padang, pada tahun 1999. Tidak hanya aktif dalam pengajaran, penulis juga terlibat dalam pengelolaan laboratorium. Pada periode 2000–2002, ia dipercaya menjabat sebagai Kepala Laboratorium Ilmu Dasar Universitas Simalungun, sebuah posisi yang memperkuat kiprahnya dalam bidang pendidikan dan penelitian kimia.

Dedikasi dan komitmen penulis terhadap dunia akademik juga tercermin dari keterlibatannya dalam pengembangan institusi. Sejak tahun 2018 hingga sekarang, ia menjadi anggota Senat Universitas Simalungun, berkontribusi dalam pengambilan keputusan strategis untuk kemajuan universitas. Dengan pengalaman panjang sebagai pendidik, peneliti, dan pengelola akademik, penulis terus menunjukkan komitmen tinggi dalam mengembangkan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang kimia, serta membimbing generasi muda menuju masa depan yang lebih baik.

KIMIA DASAR

Buku ini menyajikan kajian komprehensif mengenai konsep dasar kimia, struktur atom, sistem periodik, ikatan kimia, larutan asam-basa, reaksi redoks, koloid, kimia unsur, radiokimia, hingga polimer, yang dirancang sistematis untuk membangun pemahaman mendasar mahasiswa terhadap ilmu kimia. Bab awal membahas hakikat, peran, dan sejarah perkembangan kimia, dilanjutkan dengan pengenalan materi, sifat-sifatnya, serta perubahan fisika dan kimia. Pemahaman diperkuat melalui pembahasan struktur atom, teori kuantum, konfigurasi elektron, serta kaitannya dengan sifat periodik unsur. Bab ikatan kimia menekankan keterkaitan antara jenis ikatan dengan sifat zat, diikuti bahasan larutan asam-basa, pH, buffer, dan indikator. Konsep redoks dan elektrokimia dipaparkan melalui teori, perhitungan potensial elektroda, dan aplikasi teknologi. Koloid dijelaskan dari karakteristik, sifat, hingga aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari, sementara kimia unsur menguraikan alkali, alkali tanah, periode III, transisi, halogen, dan gas mulia. Radiokimia membahas struktur inti, radioaktivitas, dampak radiasi, serta pemanfaatan radioisotop, sedangkan bab polimer meninjau definisi, jenis, sifat, proses pembuatan, dan aplikasinya. Buku ini juga dilengkapi praktikum kimia dasar sebagai sarana aplikatif, rangkuman, dan latihan pada tiap bab sehingga menjadi referensi integral bagi mahasiswa dan pengajar untuk memahami konsep sekaligus penerapan kimia dalam kehidupan dan teknologi modern.

ISBN 978-624-7283-44-8



9

786347

283498



No. 44/ SBA / 2023



Google Play
Books



Takaza
INNOVATIA LABS