

KIMIA ORGANIK DAN KIMIA ANORGANIK

I Wayan Tanjung Aryasa

Henny Parida Hutapea

Elianasari

Aliyah Fahmi

Eka Cahya Muliawati

Muawanah

Pra Dian Mariadi

Sri Astuti

Waode Rustiah

Khoirul Ngibad

Neny Rochyani

Erlinda Ningsih

Siti Nurul Afifah



GET PRESS INDONESIA

KIMIA ORGANIK DAN KIMIA ANORGANIK

Penulis :

I Wayan Tanjung Aryasa
Henny Parida Hutapea
Elianasari
Aliyah Fahmi
Eka Cahya Muliawati
Muawanah
Pra Dian Mariadi
Sri Astuti
Waode Rustiah
Khoirul Ngibad
Neny Rochyani
Erlinda Ningsih
Siti Nurul Afifah

ISBN :

Editor : Ariyanto M.Pd

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Desember 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Kimia Organik Dan Kimia Anorganik ini.

Buku ini membahas Struktur Molekul dan Ikatan Kimia, Reaksi-reaksi Organik, Hidrokarbon, Isomerisme, Polimer dan Polimerisasi, Karbohidrat, Lipid, dan Protein, Asam Nukleat dan Genetika, Konsep Asam-Basa, Logam dalam Kimia Anorganik, Senyawa Anorganik Utama, Sifat Larutan, Kimia Atmosfer dan Lingkungan, Kimia Obat-obatan Anorganik.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Desember 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 STRUKTUR MOLEKUL DAN IKATAN KIMIA.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Pendekatan Kössel-Lewis pada Ikatan Kimia.....	2
1.2.1 Aturan Oktet.....	4
1.2.2 Ikatan Kovalen.....	4
1.2.3 Representasi Lewis Paa Molekul Sederhana (Struktur Lewis).....	6
1.2.4 Muatan Formal.....	8
1.2.5 Batasan Aturan Oktet	10
1.3 Ikatan Ionik atau Elektrovalen.....	12
1.3.1 Entalpi Kisi.....	13
1.4 Parameter Ikatan	14
1.4.1 Panjang Ikatan	14
1.4.2 Sudut Ikatan.....	16
1.4.3 Entalpi Ikatan	16
1.4.4 Orde Ikatan.....	18
1.4.5 Struktur Resonansi.....	19
1.4.6 Polaritas Ikatan	20
1.5 Elektron Kulit ValensiTeori Tolakan Berpasangan (VSEPR).....	24
1.6 Teori Ikatan Valensi	30
1.6.1 Konsep Tumpang Tindih Orbital	33
1.6.2 Sifat Arah Obligasi	34
1.6.3 Tumpang tindih Orbital Atom.....	34
1.6.4 Jenis Tumpang Tindih dan Sifatnya	36
1.6.5 Kekuatan Ikatan Sigma dan pi	38
DAFTAR PUSTAKA	39
BAB 2 REAKSI – REAKSI ORGANIK	41
2.1 Sekilas Tentang Reaksi Organik.....	41
2.2 Memahami Reaksi Organik	42
2.2.1 Dasar Reaksi Organik	43

2.2.2 Penulisan Reaksi Organik.....	43
2.3 Jenis Reaksi Organik.....	44
DAFTAR PUSTAKA	50
BAB 3 HIDROKARBON	51
3.1 Pendahuluan.....	51
3.2 Alkana dan Sikloalkana.....	51
3.2.1 Tata Nama Alkana dan Sikloalkana.....	52
3.2.2 Sifat Fisik Alkana dan Sikloalkana.....	54
3.2.3 Reaksi-reaksi pada Alkana.....	55
3.2.4 Reaksi-reaksi pada Alkana.....	56
3.3 Alkena dan Alkuna	57
3.3.1 Isomer Cis-Trans pada Alkena.....	58
3.3.2 Tata Nama Alkena dan Alkuna.....	58
3.3.3 Sifat Fisik Alkena dan Alkuna.....	60
3.3.4 Reaksi-Reaksi Alkena dan Alkuna	60
3.3.5 Pembuatan Alkena dan Alkuna	62
3.4 Sumber dan Kegunaan Hidrokarbon	63
3.4.1 Kegunaan Alkana	63
3.4.2 Pembuatan Alkena dan Alkuna	63
DAFTAR PUSTAKA	65
BAB 4 ISOMERISME	67
4.1 Pendahuluan.....	67
4.2 Pembagian Isomer	68
4.2.1 Isomer Struktural/Konstitusional	69
4.2.2 Stereoisomerisme/Spasial.....	70
4.3 Bentuk cis dan trans.....	76
4.4 Enansiomer.....	78
4.5 Stereoisomer Molekul.....	80
4.6 Diastereomer.....	82
4.7 Kiralitas Dalam Bahan Alami dan Sintetis	83
4.8 Notasi E-Z.....	84
DAFTAR PUSTAKA	85
BAB 5 POLIMER DAN POLIMERISASI.....	87
5.1 Pendahuluan.....	87
5.2 Sejarah, Sifat, Manfaat dan Klasifikasi Jenis Polimer	87
5.3 Teknik Polimerisasi.....	94
5.4 Degradasi Polimer	97

5.5 Karakterisasi Polimer	100
DAFTAR PUSTAKA	103
BAB 6 KARBOHIDRAT, LIPID, DAN PROTEIN	105
6.1 Pendahuluan.....	105
6.2 Karbohidrat.....	105
6.2.1 Pengertian.....	105
6.2.2 Fungsi Karbohidrat	106
6.2.3 Klasifikasi Karbohidrat.....	107
6.3 LIPID	113
6.3.1 Pengertian Lipid.....	113
6.3.2 Klasifikasi Lipid.....	114
6.3.3 Fungsi Lipid.....	116
6.3.4 Sifat Lipid.....	117
6.4 Protein	118
6.4.1 Pengertian Protein.....	118
6.4.2 Klasifikasi Protein	120
6.4.3 Sifat Protein.....	122
6.4.4 Fungsi Protein	124
DAFTAR PUSTAKA	126
BAB 7 ASAM NUKLEAT DAN GENETIKA.....	127
7.1 Komponen Penyusun Asam Nukleat.....	128
7.2 Nukleotida Dan Nukleosida.....	130
7.3 Struktur Asam Nukleat.....	132
7.4 Sifat Fisika-Kimia Asam Nukleat	138
7.5 Fungsi Asam Nukleat.....	139
7.6 Sintesis Asam Nukleat (DNA dan RNA).....	140
DAFTAR PUSTAKA	146
BAB 8 KONSEP ASAM BASA.....	147
8.1 Pendahuluan.....	147
8.2 Indikator Asam Basa.....	147
8.3 Pengertian Asam Basa.....	151
8.3.1 Asam.....	151
8.3.2 Basa.....	152
8.4 Teori Asam Basa	153
8.4.1 Teori Asam Basa Menurut Arrhenius.....	153
8.4.2 Teori Asam Basa Menurut Brønsted-Lowry	154
8.4.3 Teori Asam Basa Menurut Lewis	156

8.5 Derajat Keasaman (pH)	157
8.5.1 Asam	157
8.5.2 Basa	158
DAFTAR PUSTAKA	160
BAB 9 LOGAM DALAM KIMIA ANORGANIK	161
9.1 Pendahuluan	161
9.2 Logam Golongan 1	161
9.2.1 Sumber Logam Alkali di Alam	162
9.2.2 Sifat Kimia Logam Alkali	163
9.2.3 Warna Nyala Logam Alkali	163
9.2.4 Sifat Fisika Logam Alkali	164
9.2.5 Kegunaan Logam Alkali	164
9.3 Logam Golongan 2	165
9.3.1 Sifat-sifat Unsur Alkali Tanah	166
9.3.2 Warna Nyala Logam Alkali Tanah	167
9.4 Logam Golongan 12	167
9.5 Logam Golongan 13	171
9.6 Logam Golongan 14 dan 15	177
DAFTAR PUSTAKA	184
BAB 10 SENYAWA ANORGANIK UTAMA	185
10.1 Pendahuluan	185
10.2 Sifat dan Karakteristik Senyawa Anorganik	188
10.2.1 Struktur atom senyawa anorganik	188
10.2.2 Jenis – jenis ikatan kimia senyawa anorganik	188
10.2.3 Sifat fisika senyawa anorganik	189
10.2.4 Sifat kimia senyawa anorganik	189
10.3 Klasifikasi Senyawa Anorganik	190
10.4 Peran dan Aplikasi Senyawa Anorganik	192
10.5 Analisis Senyawa Anorganik	193
DAFTAR PUSTAKA	194
BAB 11 SIFAT LARUTAN	197
11.1 Pendahuluan	197
11.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kelarutan	198
11.4 Konsentrasi Larutan	199
11.5 Reaksi Larutan	200
11.6 pH Larutan	202
DAFTAR PUSTAKA	204

BAB 12 KIMIA ATMOSFER DAN LINGKUNGAN.....	205
12.1 Pendahuluan	205
12.2 Atmosfer Bumi.....	205
12.2.1 Evolusi Atmosfer	206
12.2.2 Temperatur Atmosfer	207
12.3 Polutan Atmosfer	209
12.3.1 Efek Rumah Kaca dan Pemanasan Global.....	209
12.3.2 Hujan Asam dan Dampaknya	211
12.3.3 Polusi Udara dan Penipisan Ozon	212
12.4 Solusi Menghadapi Polutan Atmosfer	213
DAFTAR PUSTAKA	216
BAB 13 KIMIA OBAT-OBATAN ANORGANIK	217
13.1 Pendahuluan	217
13.2 Pentingnya Senyawa Kimia Anorganik Dalam Dunia Farmasi	218
13.3 Klasifikasi Kimia Obat-Obatan Anorganik.....	219
13.4 Peran Unsur Logam Dalam Kimia Obat-Obatan Anorganik.....	233
13.4.1 Senyawa Kompleks Logam Selain Cisplatin Sebagai Agen Terapi	235
13.4.2 Peran Senyawa Pengkhelat Sebagai Agen Terapi Obat.....	236
13.4.3 Pentingnya Kompleks Logam Sebagai Agen MRI (Pencitraan Resonansi Magnetik)	241
13.4.4 Kompleks Logam Sebagai Agen Antimikroba.....	243
13.5 Strategi Desain Metalodrug Atau Kimia Obat Anorganik Berbasis Logam	247
13.6 Farmakope Di Negara Indonesia.....	253
13.7 Kesimpulan.....	254
DAFTAR PUSTAKA	256
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Panjang ikatan pada suatu kovalen molekul AB. $R = r_A + r_B$ (R adalah panjang ikatan dan r_A dan r_B adalah jari-jari kovalen atom A dan B, masing-masing)	15
Gambar 1.2. Jari-jari kovalen dan Van der Waals masuk sebuah molekul klorin. Lingkaran dalam sesuai dengan ukuran klorin atom (r_{vdw} dan r_c adalah van der Waals dan jari-jari kovalen masing-masing).	15
Gambar 1.3. Resonansi pada molekul O_3	19
Gambar 1.4. Bentuk molekul dimana atom pusat tidak mempunyai pasangan mandiri	26
Gambar 1.5. Gaya tarik menarik dan tolak menolak selama pembentukan molekul H_2	32
Gambar 1.6. Kurva energi potensial untuk pembentukan molekul H_2 sebagai suatu fungsi jarak antar inti atom H. Minimum dalam kurva sesuai ke keadaan paling stabil H_2	33
Gambar 1.7. Tumpang tindih positif, negatif dan nol orbital atom s dan p	36
Gambar 3.1. Trimetilheksana	52
Gambar 3.2. 2,2,6-trimetil-4-isobutil heptana	53
Gambar 3.3. (a) 1-metilsiklopentana (b) sikloheksana	54
Gambar 3.4. (a) 1-metilsikloheksanon (b) 3-bromosikloheksana (c) 3-metil-1,4-dimetilsikloheksadiena	59
Gambar 4.1. Struktur kimia dari metana, etana dan propane	70
Gambar 4.2. Struktur kimia metana	71
Gambar 4.3. Isomerisme etana	72
Gambar 4.4. Anti 1,2 dideuterioetana dan gauche 1,2 dideuterioetana	73

Gambar 4.5. Bentuk anti dan gauche pada isomerisme konformasi	74
Gambar 4.6. Struktur kimia silkopropana da sikloheksana	74
Gambar 4.7. Konformasi isomer dalam bentuk kursi, kapal dan twist.....	75
Gambar 4.8. Rotasi pada ikatan karbon	75
Gambar 4.9. Equatorial vs aksial.....	76
Gambar 4.10. Struktur kimia cis-2-butena dan trans-2-butena.....	77
Gambar 4.11. Struktur kimia dan trans -1,2-dimetil siklo propane.....	77
Gambar 4.12. Kiral dan bukan kiral pada bayangan cermin.....	78
Gambar 4.13. Bayangan cermin	79
Gambar 4.14. (R) (S) dan (S) (S) bromokloro-fluoriodometana	80
Gambar 4.15. Empat grup berbeda menempel dengan satu karbon tetapi masih sangat tidak mungkin pada bayangan cermin	82
Gambar 4.16. Pasangan dari diastereomer- stereoisomer tetapi bukan enansiomer	83
Gambar 6.1. Gliseraldehida dan Dihidroksiaseton.....	108
Gambar 6.2. Tatanama Glukosa.....	109
Gambar 6.3. Formasi Maltosa	112
Gambar 6.4. Pembentukan Lemak	116
Gambar 6.4. (a) Struktur Asam Amino (b) Struktur Primer Protein.....	119
Gambar 7.1. Gambar Gula Pentosa penyusun Asam Nukleat.....	128
Gambar 7.2. Struktur Fosfat.....	129
Gambar 7.3. Struktur Turunan Purin.....	129
Gambar 7.4. Struktur Turunan Pirimidin.....	130
Gambar 7.5. Struktur AMP, ADP dan ATP	132
Gambar 7.6. A,G,T,C.....	133
Gambar 7.7. Struktur Sebagian dari DNA.....	135
Gambar 7.8. Struktur DNA terdiri dari heliks ganda,	

basa nitrogen (berwarna), gugus fosfat, dan gula (berwarna hitam)	136
Gambar 7.9. (a) Struktur double heliks DNA (b) Struktur Tunggal RNA	137
Gambar 7.10. Pelepasan untai DNA.....	143
Gambar 8.1. Struktur indikator p-nitrofenol	149
Gambar 8.2. Indikator Universal	150
Gambar 8.3. pH Meter	150
Gambar 8.4. Reaksi HCl dengan Air	153
Gambar 8.5. Reaksi NH ₃ dengan Air	154
Gambar 8.6. Reaksi NH ₃ dan H ₂ O.....	155
Gambar 8.7. Reaksi NH ₃ dengan BF ₃	156
Gambar 9.1. Warna Khas Nyala Logam Alkali	164
Gambar 9.2. Unsur-unsur Logam Alkali Tanah.....	165
Gambar 9.3. Warna Khas Nyala Logam Alkali Tanah.....	167
Gambar 9.4. Logam Zink (Zn).....	168
Gambar 9.5. Logam Cadmium (Cd).....	168
Gambar 9.6. Logam Merkuri (Hg)	169
Gambar 9.7. Aluminium Foil	172
Gambar 9.8. Logam Galium.....	172
Gambar 9.9. Logam Indium	173
Gambar 9.10. Logam Thallium	174
Gambar 12.1. Variasi suhu rata-rata dengan ketinggian berbeda	208
Gambar 12.2. Efek Rumah Kaca	210
Gambar 12.3. Proses oksida sulfur dan nitrogen menjadi asam	211
Gambar 12.4. (a) Lapisan Ozon (b) Penipisan Lapisan Ozon	213
Gambar 12.5. Diagram Proses Terjadinya Polutan Atmosfer dan Dampaknya bagi makhluk hidup dan lingkungan.	215
Gambar 13.1. Jenis unsur logam yang digunakan dalam dunia kimia obat-obatan anorganik.....	234
Gambar 13.2. Klasifikasi kimia obat-obatan anorganik	235

Gambar 13.3. Senyawa kompleks dengan logam platinum (Pt) yang digunakan dalam dunia medis yaitu senyawa kimia obat anorganik berbasis logam olatinum yang telah disetujui.....	236
Gambar 13.4. Senyawa logam pengkhelat yang telah disetujui.....	238
Gambar 13.5. Senyawa logam pengompleks [Gd (DTPA)] ²⁻ dan [Gd(DOTA)] ⁻	240
Gambar 13.6. Dua senyawa logam anorganik pengkhelat dalam dunia klinis dan medis yang diuji-cobakan untuk terapi sebuah penyakit neurodegeneratif	241
Gambar 13.7. Struktur senyawa logam anorganik gadopentetate sebagai agen kontras MRI pertama dalam dunia medis.....	243
Gambar 13.8. Senyawa siklik kompleks model salvarsan.....	244
Gambar 13.9. Obat kimia anorganik yang digunakan sebagai obat anti-mmikroba dan anti-parasit yang telah disetujui dan dalam uji klinis	245

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Representasi Lewis dari Beberapa Molekul.....	8
Tabel 1.2. Rata-rata Panjang Obligasi untuk Beberapa Ikatan Tunggal, Ganda dan Tripel.....	17
Tabel 1.3. Panjang Ikatan pada Beberapa Persamaan Molekul.....	17
Tabel 1.4. Jari-jari Kovalen, r_{cov} /(pm)	18
Tabel 1.5. Momen Dipol Molekul Terpilih.....	23
Tabel 1.6. Geometri Molekul yang Atom Pusatnya Tidak Memiliki Pasangan Elektron Sendiri.....	27
Tabel 1.7. Bentuk (Geometri) Beberapa Molekul/Ion Sederhana yang Memiliki Ion Pusat Satu atau Lebih Pasangan Elektron Sendirian (E).....	28
Tabel 1.8. Bentuk Molekul yang Mengandung Pasangan Ikatan dan Pasangan Mandiri.....	29
Tabel 3.1. Nama, Rumus Molekul, Titik didih, dan Titik leleh deret homolog alkana C1 sampai dengan C12	52
Tabel 3.2. Contoh reaksi adisi pada alkena dan alkuna .	60
Tabel 6.1. Klasifikasi dari Monosakarida	110
Tabel 7.1. Nukleosida Penyusun Asam Nukleat.....	131
Tabel 7.2. Mononukleotida Penyusun Asam Nukleat DNA dan RNA	131
Tabel 9.1. Sifat Fisika Logam Alkali	164
Tabel 9.2. Sifat Fisika-Kimia Logam Alkali Tanah.....	166
Tabel 9.3. Sifat Fisika-Kimia Logam Golongan 12	170
Tabel 9.4. Sifat-sifat Fisik Golongan 13	174
Tabel 9.5. Sifat-sifat Fisik Golongan 13.....	181
Tabel 10.1. Perbedaan senyawa organik dan anorganik.....	186

BAB 1

STRUKTUR MOLEKUL DAN IKATAN KIMIA

Oleh I Wayan Tanjung Aryasa

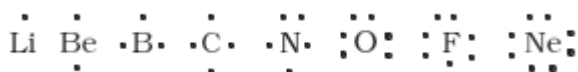
1.1 Pendahuluan

Materi terdiri dari satu atau beberapa jenis elemen. Dalam kondisi normal tidak ada unsur lain yang ada sebagai atom independen di alam, kecuali gas mulia. Namun, sekelompok atom ditemukan ada bersama sebagai satu spesies yang mempunyai sifat-sifat yang khas. Sekelompok atom seperti itu disebut molekul. Jelas, harus ada kekuatan yang menyatukan atom-atom penyusunnya tersebut dalam molekul. Kekuatan tarik menarik yang dimilikinya ada bermacam-macam unsur-unsur penyusunnya (atom, ion, dsb.) secara bersama-sama dalam cara yang berbeda spesies kimia disebut ikatan kimia. Sejak saat itu pembentukan senyawa kimia terjadi sebagai akibat dari kombinasi atom dari berbagai unsur dengan cara yang berbeda yang menimbulkan banyak pertanyaan. Mengapa atom dapat bergabung? Mengapa hanya kombinasi tertentu yang mungkin? Mengapa beberapa atom menggabungkan sementara yang lain tidak? Mengapa molekul memiliki bentuk yang pasti? Untuk menjawab pertanyaan seperti itu berbeda teori dan konsep telah dikemukakan dari waktu ke waktu. Ini adalah pendekatan Kössel-Lewis, Valence Shell, Teori Tolakan Pasangan Elektron (VSEPR), Teori Ikatan Valensi (VB) dan Teori Orbital Molekuler (MO). Evolusi dari berbagai teori valensi dan interpretasinya sifat ikatan kimia sangat erat kaitannya dengan perkembangan pemahaman tentang struktur atom, konfigurasi elektron unsur dan tabel periodik. Setiap sistem cenderung lebih stabil dan ikatan adalah cara alam untuk menurunkan energi sistem untuk mencapai stabilitas.

1.2 Pendekatan Kössel-Lewis pada Ikatan Kimia

Untuk menjelaskan pembentukan ikatan kimia dalam hal elektron, sejumlah upaya telah dilakukan, tetapi telah berhasil pada tahun 1916 ketika Kössel dan Lewis berhasil dalam memberikan kepuasan untuk penjelasan ini. Merekalah yang pertama kali memberikan bantuan beberapa penjelasan logis tentang valensi yang tadi berdasarkan kelembaman gas mulia.

Lewis menggambarkan atom dalam bentuk 'Kernel' bermuatan positif (inti plus elektron bagian dalam) dan kulit terluar itu dapat menampung maksimal delapan elektron. Dia, lebih lanjut berasumsi bahwa delapan elektron ini menempati sudut-sudut kubus yang mengelilingi 'Kernel'. Demikianlah single elektron kulit terluar natrium akan menempati salah satu sudut kubus, sedangkan pada kasus delapan penjurur akan menjadi gas mulia. Elektron oktet ini mewakili pengaturan elektronik yang sangat stabil. Lewis mendalilkan bahwa atom mencapai oktet stabil ketika mereka dihubungkan oleh ikatan kimia. Dalam kasus natrium dan klorin, hal ini dapat terjadi melalui transfer elektron dari natrium ke klorin dengan demikian yang memberikan ion Na^+ dan Cl^- . Dalam kasus molekul lain seperti Cl_2 , H_2 , F_2 , dll., ikatannya terbentuk melalui penggunaan bersama sepasang elektron antar atom. Dalam prosesnya setiap atom mencapai elektron oktet terluar yang stabil. Simbol Lewis : Dalam pembentukan molekul, hanya kulit elektron terluar yang mengambil bagian dalam kombinasi kimia dan memang demikian dikenal sebagai elektron valensi. Kulit bagian dalam elektron terlindungi dengan baik dan umumnya tidak terlibat dalam proses kombinasi. G.N. Lewis, seorang ahli kimia Amerika memperkenalkan notasi sederhana untuk mewakili elektron valensi dalam sebuah atom. Notasi ini disebut simbol Lewis. Misalnya simbol Lewis untuk unsur-unsur periode kedua adalah sebagai berikut:

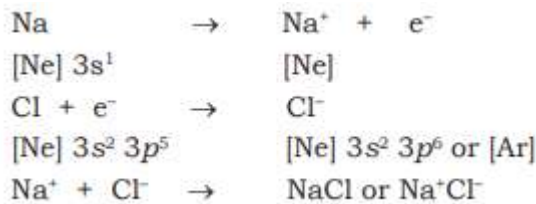


Signifikansi Simbol Lewis : jumlah titik di sekitar simbol mewakili jumlah elektron valensi. Nomor elektron valensi ini membantu menghitung valensi persekutuan atau kelompok suatu unsur. Valensi golongan unsur-unsur secara umum adalah sama

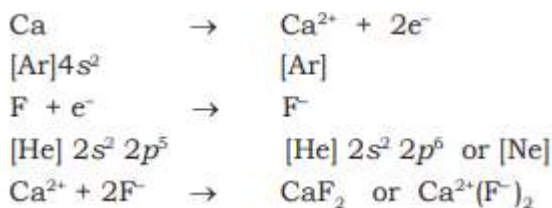
dengan jumlah titik di simbol Lewis atau 8 dikurangi jumlah titik atau elektron valensi.

Kössel, dalam kaitannya dengan ikatan kimia, menarik perhatian pada fakta-fakta berikut:

1. Dalam tabel periodik, nilai elektronegatif tertinggi halogen dan sangat elektropositif logam alkali dipisahkan oleh gas mulia;
2. Pembentukan ion negatif dari atom halogen dan ion positif dari atom logam alkali dikaitkan dengan perolehan dan kehilangan elektron oleh atom masing-masing;
3. Ion negatif dan positif yang terbentuk mencapai konfigurasi yang stabil elektronik gas mulia. Gas mulia (dengan pengecualian helium yang mempunyai elektron duplet) sangat stabil untuk konfigurasi kulit terluar delapan (oktet) elektron, ns^2np^6 .
4. Ion negatif dan positif menjadi stabil oleh tarikan elektrostatis.
5. Misalnya pembentukan NaCl dari Natrium dan Klorin, menurut penjelasan di atas skema, dapat dijelaskan sebagai berikut:



Demikian pula pembentukan CaF_2 mungkin terjadi ditampilkan sebagai berikut:



Ikatan yang terbentuk, sebagai hasil dari tarik-menarik elektrostatis antara ion positif dan negatif yang disebut sebagai ikatan elektrovalen. Elektrovalensi dengan demikian sama dengan jumlah satuan muatan pada ion. Jadi, kalsium menghasilkan elektrovalensi positif dua, sedangkan klorin elektrovalensi negatif satu.

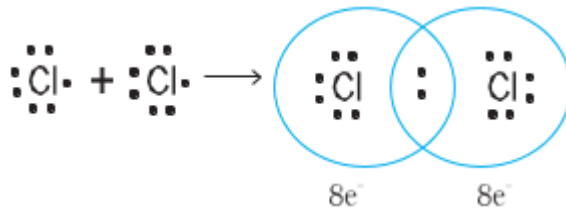
Postulasi Kössel memberikan dasar untuk hal tersebut sebagai konsep modern mengenai pembentukan ion melalui transfer elektron dan pembentukan ionik senyawa kristal. Pandangannya telah terbukti menjadi sangat berharga dalam pemahaman dan sistematisasi senyawa ionik. Pada saat yang sama dia menyadari fakta itu pada sejumlah besar senyawa yang tidak cocok konsep-konsep ini.

1.2.1 Aturan Oktet

Kössel dan Lewis pada tahun 1916 mengembangkan teori penting dari kombinasi kimia antar atom yang dikenal dengan teori elektronik dari ikatan kimia. Menurut teori ini, atom dapat bergabung melalui transfer elektron valensi dari satu atom ke atom lainnya (mendapatkan atau kehilangan) atau dengan berbagi elektron valensi agar mencapai oktet didalamnya kulit valensi. Ini dikenal sebagai aturan oktet.

1.2.2 Ikatan Kovalen

Langmuir (1919) menyempurnakan postulasi Lewis dengan meninggalkan gagasan susunan kubus stasioner dari oktet, dan dengan memperkenalkan istilah kovalen menjalin suatu pendekatan. Teori Lewis-Langmuir bisa jadi dipahami dengan mempertimbangkan dalam pembentukan molekul klorin, Cl_2 . Atom Cl dengan konfigurasi elektronik, $[\text{Ne}]3s^2 3p^5$, adalah satu elektron yang kekurangan untuk mencapai konfigurasi argon. Pembentukan molekul Cl_2 dapat terjadi dan dipahami dalam kaitannya dengan pembagian sepasang elektron antara dua atom klor, dimana setiap atom klor menyumbang satu elektron ke pasangan bersama. Dalam prosesnya, kedua atom klor mencapai oktet pada kulit terluar gas mulia yang terdekat (yaitu argon).

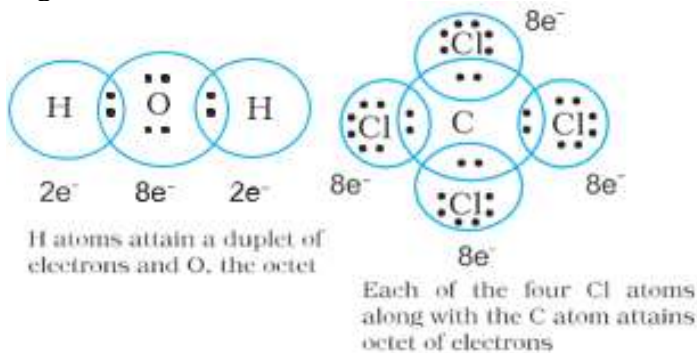


atau Cl – Cl. Ikatan kovalen antara dua atom Cl

Titik-titik yang melambangkan elektron. Seperti struktur ini disebut sebagai struktur titik Lewis.

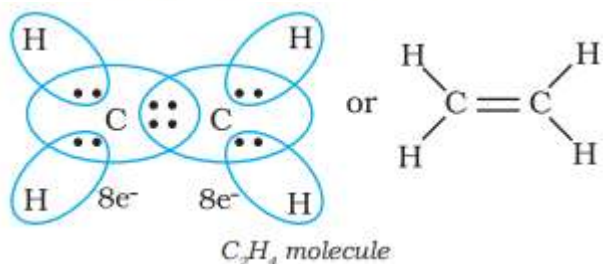
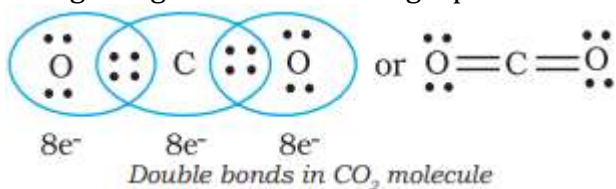
Struktur titik Lewis dapat ditulis pada molekul lain juga, di mana bergabungnya atom mungkin bisa identik atau berbeda. Itu syarat pentingnya adalah:

1. Setiap ikatan terbentuk sebagai hasil dari berbagi pasangan elektron antar atom.
2. Setiap atom yang bergabung memberikan kontribusi setidaknya satu elektron ke pasangan bersama.
3. Hasilnya, atom-atom yang bergabung mencapai konfigurasi gas mulia pada kulit terluar tentang pembagian elektron.
4. Jadi dalam air dan karbon tetraklorida molekul, pembentukan ikatan kovalen dapat direpresentasikan sebagai berikut:

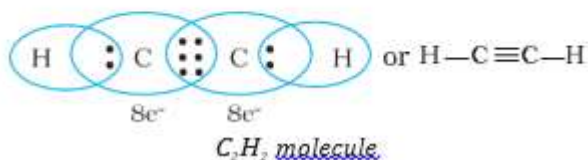
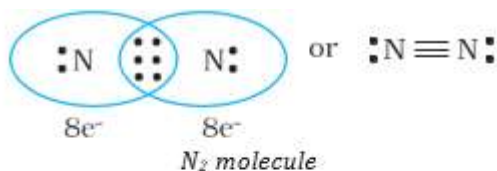


Jadi, ketika dua atom berbagi satu pasangan elektron mereka dikatakan bergabung menjadi ikatan kovalen tunggal. Pada banyak senyawa diketahui memiliki banyak ikatan antar atom. Pembentukan banyak ikatan bisa dibayangkan untuk pembagian lebih dari satu pasangan elektron diantara kedua atomnya. Jika dua atom berbagi dua pasang elektron, ikatan kovalen di antara mereka

disebut ikatan rangkap. Misalnya saja di molekul karbon dioksida, kita memiliki dua molekul ikatan ganda antara atom karbon dan oksigen. Begitu pula pada molekul etena terdapat dua karbon pada atom-atom bergabung melalui ikatan rangkap.



Saat menggabungkan atom untuk berbagi tiga pasangan elektron seperti dalam kasus dua atom nitrogen dalam molekul N_2 dan keduanya atom karbon dalam molekul etuna, ikatan rangkap tiga terbentuk.



1.2.3 Representasi Lewis Paa Molekul Sederhana (Struktur Lewis)

Struktur titik Lewis memberikan gambaran ikatan dalam molekul dan ion dalam hal aturan pasangan elektron dan oktet yang dipakai bersama. Meskipun gambaran seperti itu mungkin tidak menjelaskan ikatan dan perilaku suatu molekul sepenuhnya, ini

membantu dalam memahami sebagian besar pembentukan dan sifat suatu molekul. Penulisan struktur titik Lewis dari molekul sangat berguna. Struktur titik Lewis dapat ditulis dengan mengadopsi langkah-langkah berikut:

1. Jumlah total elektron yang dibutuhkan untuk menulis struktur diperoleh dengan menambahkan elektron valensi dari menggabungkan atom. Misalnya saja molekul CH_4 ada delapan elektron valensi tersedia untuk ikatan (4 dari karbon dan 4 dari empat atom hidrogen).
2. Untuk anion, setiap muatan negatif akan memiliki muatan negatif berarti penambahan satu elektron. Untuk kation, setiap muatan positif akan menghasilkan pengurangan satu elektron dari jumlah total elektron valensi. Misalnya, untuk ion CO_3^{2-} , dua muatan negatif menunjukkan bahwa ada dua tambahan elektron daripada yang disediakan oleh atom netral. Untuk ion NH_4^+ , satu muatan positif menunjukkan hilangnya satu elektron dari kelompok atom netral.
3. Mengetahui simbol-simbol kimia dari menggabungkan atom dan memiliki pengetahuan struktur kerangka senyawa tersebut (diketahui atau ditebak dengan cerdas), mudah saja untuk mendistribusikan jumlah total elektron sebagai ikatan pasangan bersama antara atom sebanding dengan total ikatannya.
4. Secara umum atom paling elektronegatif menempati posisi sentral di molekul/ion. Misalnya di NF_3 dan CO_3^{2-} , nitrogen dan karbon adalah pusat atomnya sedangkan fluor dan oksigen menempati posisi terminal.
5. Setelah memperhitungkan pasangan yang dibagikan elektron untuk ikatan tunggal, sisanya pasangan elektron digunakan untuk ikatan ganda atau tetap sebagai satu-satunya berpasangan. Persyaratan dasarnya adalah bahwa setiap atom yang terikat mendapat satu elektron oktet.

Representasi Lewis dari beberapa molekul/ion diberikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Representasi Lewis dari Beberapa Molekul

Molecule/Ion	Lewis Representation	
H ₂	H : H [*]	H - H
O ₂	:Ö::Ö:	:Ö=Ö:
O ₃	$\begin{array}{c} \text{O}^+ \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O}^+ \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array}$
NF ₃	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{N} \quad \text{F} \\ \\ \text{F} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{F} - \text{N} - \text{F} \\ \\ \text{F} \end{array}$
CO ₃ ²⁻	$\left[\begin{array}{ccc} \text{O} & & \text{O} \\ & & \\ \text{O} & - \text{C} & - \text{O} \\ & & \end{array} \right]^{2-}$	$\left[\begin{array}{ccc} \text{O} & & \text{O} \\ & & \\ \text{O} - \text{C} & - & \text{O} \\ & & \end{array} \right]^{2-}$
HNO ₃	$\begin{array}{c} + \\ \text{O} \quad \text{N} \quad \text{O} \quad \text{H} \\ \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} + \\ \text{O} = \text{N} - \text{O} - \text{H} \\ \\ \text{O} \end{array}$

** Each H atom attains the configuration of helium (a duplet of electrons)*

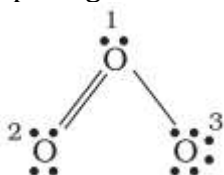
1.2.4 Muatan Formal

Struktur titik Lewis, secara umum, tidak mewakili bentuk sebenarnya dari molekul. Untuk ion poliatomik, muatan bersihnya adalah dimiliki oleh ion secara keseluruhan dan bukan oleh atom tertentu. Namun, hal ini mungkin dilakukan penetapan muatan formal pada setiap atom. Itu muatan formal atom dalam molekul atau ion poliatomik dapat didefinisikan sebagai perbedaan antara jumlah valensi elektron suatu atom itu secara keadaan terisolasi atau bebas dan jumlah elektron yang ditugaskan ke atom dalam struktur Lewis. Dia diekspresikan sebagai berikut :

Formal charge (F.C.) on an atom in a Lewis structure	=
$ \left[\begin{array}{c} \text{total number of valence} \\ \text{electrons in the free} \\ \text{atom} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{total number of non} \\ \text{bonding (lone pair)} \\ \text{electrons} \end{array} \right] - (1/2) \left[\begin{array}{c} \text{total number of} \\ \text{bonding (shared)} \\ \text{electrons} \end{array} \right] $	

Penghitungannya berdasarkan asumsi bahwa atom dalam molekul memilikinya elektron dari setiap pasangan bersama dan kedua elektronnya dari pasangan mandiri.

Mari kita perhatikan molekul ozon (O_3). Struktur Lewis O_3 dapat digambarkan sebagai berikut:



Atom-atomnya diberi nomor 1, 2 dan 3. Tuntutan formal atas:

1. Atom O pusat bertanda 1

$$= 6 - 2 - \frac{1}{2} (6) = +1$$

2. Atom O terakhir bertanda 2

$$= 6 - 4 - \frac{1}{2} (4) = 0$$

3. Atom O terakhir bertanda 3

$$= 6 - 6 - \frac{1}{2} (2) = -1$$

Oleh karena itu, telah diwakili oleh O_3 bersama dengan ikatan resmi sebagai berikut:



Kita harus memahami tuntutan formal itu tidak menunjukkan pemisahan muatan nyata didalam molekulnya. Menunjukkan muatan pada atom dalam struktur Lewis hanya membantu melacak elektron valensi di dalam molekulnya. Muatan formal membantu dalam pemilihan energi struktur terendah dari sejumlah kemungkinan struktur Lewis untuk spesies tertentu. Umumnya energi terendah struktur adalah muatan formal yang terkecil pada atom. Muatan formal adalah faktor yang didasarkan pada pandangan ikatan kovalen murni di mana pasangan elektron dibagikan secara merata oleh atom-atom tetangganya.

1.2.5 Batasan Aturan Oktet

Aturan oktet, meskipun berguna, tidak bersifat universal. Hal ini cukup berguna untuk memahami struktur sebagian besar senyawa organik dan ini terutama berlaku untuk periode kedua unsur-unsur pada tabel periodik. Ada tiga jenis pengecualian terhadap aturan oktet.

Oktet atom pusat yang tidak lengkap

Dalam beberapa senyawa, jumlah elektron mengelilingi atom pusat kurang dari delapan. Hal ini terutama terjadi pada elemen mempunyai kurang dari empat elektron valensi. Contohnya adalah LiCl, BeH₂ dan BCl₃.



Li, Be dan B hanya memiliki 1, 2 dan 3 elektron valensi. Beberapa senyawa serupa lainnya adalah AlCl₃ dan BF₃.

Molekul elektron ganjil

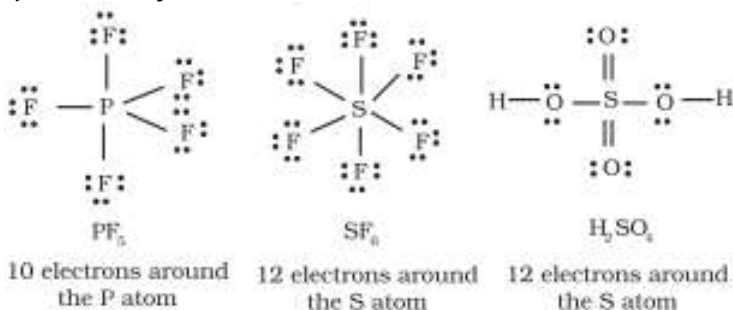
Dalam molekul dengan jumlah elektron ganjil seperti oksida nitrat, NO dan Nitrogen Dioksida, NO₂, aturan oktet tidak terpenuhi untuk semua atom.



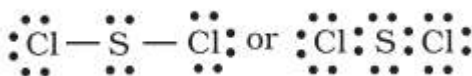
Oktet diperluas

Elemen dalam dan di luar periode ketiga tabel periodik memiliki, selain orbital 3s dan 3p, orbital 3d juga tersedia untuk ikatan. Pada sejumlah senyawa unsur-unsur tersebut ada lebih dari delapan elektron valensi sekitar atom pusat. Ini disebut sebagai oktet diperluas. Jelas sekali aturan oktetnya tidak berlaku dalam kasus seperti itu.

Beberapa contoh senyawa tersebut adalah: PF_5 , SF_6 , H_2SO_4 dan sejumlah senyawa koordinasi.



Menariknya, belerang juga banyak terbentuk pada senyawa yang mematuhi aturan oktet. Dalam sulfur diklorida, atom S memiliki elektron oktet di sekitarnya.



Kelemahan lain dari teori oktet

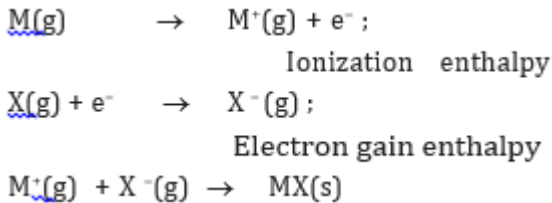
4. Jelas bahwa aturan oktet didasarkan pada kelembaman kimia gas mulia. Namun, beberapa gas mulia (misalnya xenon dan kripton) juga digabungkan dengan oksigen dan fluor untuk membentuk sejumlah senyawa seperti XeF_2 , KrF_2 , XeOF_2 dll.
5. Teori ini tidak memperhitungkan bentuk molekul.
6. Hal ini juga tidak menjelaskan stabilitas relatif energi dari molekul-molekulnya sama sekali diam suatu molekul.

1.3 Ikatan Ionik atau Elektrovalen

Dari perlakuan Kössel dan Lewis terhadap pembentukan ikatan ionik, maka pembentukan senyawa ionik terutama akan terjadi bergantung pada:

1. Kemudahan terbentuknya ion positif dan ion negatif dari masing-masing atom netral;
2. Penataan ion positif dan ion negatif dalam padatan, yaitu kisi senyawa kristal.

Pembentukan ion positif melibatkan ionisasi, yaitu pelepasan elektron dari atom netral dan atom negatif ion melibatkan penambahan elektron ke atom netral.



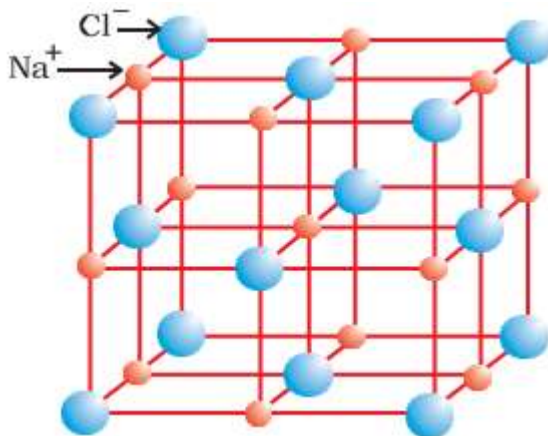
Entalpi perolehan elektron, $\Delta_{\text{eg}}H$, adalah perubahan entalpi (Unit 3), ketika fase gas atom dalam keadaan dasarnya memperoleh elektron. Proses perolehan elektron mungkin bersifat eksotermik atau endotermik. Ionisasi, di sisi lain, selalu endotermik. Afinitas elektron, merupakan perubahan energi negatif dengan penguatan elektron yang menyertainya.

Ikatan ionik akan terbentuk lebih mudah antar elemen dengan entalpi ionisasi yang relatif rendah dan elemen dengan relatif tinggi nilai negatif entalpi pada perolehan elektron.

Kebanyakan senyawa ionik mempunyai kation berasal dari unsur logam dan anion dari unsur non-logam. Ion Amonium, NH_4^+ (terdiri dari dua elemen non-logam) adalah pengecualian. Ini membentuk kation dari sejumlah senyawa ionik.

Senyawa ionik dalam keadaan kristal terdiri dari tiga dimensi yang teratur pada susunan kation dan anion yang dimiliki bersama-sama oleh energi interaksi coulomb. Senyawa ini mengkristal dalam cara yang berbeda struktur kristal ditentukan

oleh ukurannya ion-ion, pengaturan pengepakannya dan faktor lain. Struktur kristal natrium klorida, NaCl (garam batu), misalnya ditunjukkan di bawah ini.



Struktur Kristal Garam

Dalam padatan ionik, jumlah perolehan elektron entalpi dan entalpi ionisasi kemungkinan positif tetapi struktur kristalnya tetap didapatkan dalam kondisi stabil karena energi yang dilepaskan dalam pembentukan kisi kristal. Misalnya: entalpi ionisasi untuk pembentukan $\text{Na}^+(\text{g})$ dari $\text{Na}(\text{g})$ adalah $495,8 \text{ kJ mol}^{-1}$; sedangkan elektron pertambahan entalpi untuk perubahan $\text{Cl}(\text{g}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$ adalah, $-348,7 \text{ kJ mol}^{-1}$ saja. Jumlah dari dua, $147,1 \text{ kJ mol}^{-1}$ lebih dari sekedar kompensasi karena dengan entalpi pembentukan kisi $\text{NaCl}(\text{s})$ (-788 kJ mol^{-1}). Oleh karena itu, energi yang dilepaskan dalam proses lebih banyak daripada energi yang diserap. Jadi ukuran kualitatif kestabilan suatu senyawa ionik dihasilkan oleh entalpi kisi pembentukannya dan bukan hanya dengan pencapaian elektron oktet di sekitar spesies ionik dalam keadaan gas.

Karena entalpi kisi memainkan peran kunci dalam pembentukan senyawa ionik, itu adalah penting bagi kita untuk mempelajarinya lebih lanjut.

1.3.1 Entalpi Kisi

Entalpi Kisi padatan ionik didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk melakukan hal tersebut untuk memisahkan satu mol zat padat secara sempurna dari senyawa ionik menjadi unsur

ion gas. Misalnya, entalpi kisi NaCl adalah 788 kJ mol^{-1} . Artinya 788 kJ energi diperlukan untuk memisahkan satu mol NaCl padat menjadi satu mol $\text{Na}^+ (\text{g})$ dan satu mol $\text{Cl}^- (\text{g})$ hingga jarak tak terhingga.

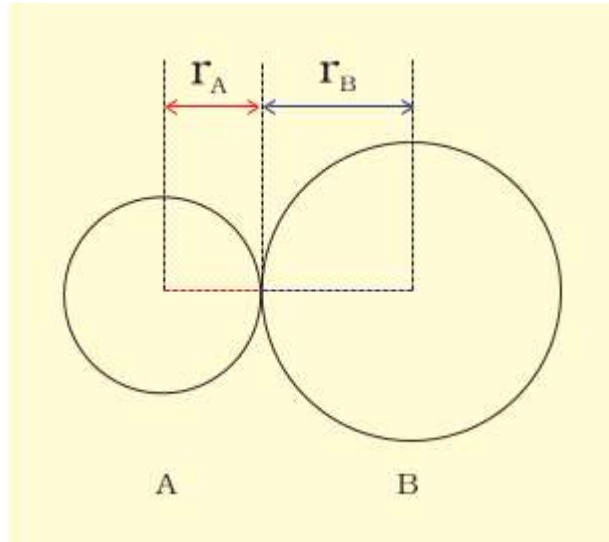
Proses ini melibatkan keduanya yang menarik gaya antara ion-ion yang muatannya berlawanan dan gaya tolak menolak antar ion seperti muatan. Kristal padat dibagi menjadi tiga dimensi; tidak mungkin untuk menghitung entalpi kisi langsung dari interaksi hanya dari gaya tarik-menarik dan tolak-menolak. Faktor yang berhubungan dengan geometri kristal harus disertakan.

1.4 Parameter Ikatan

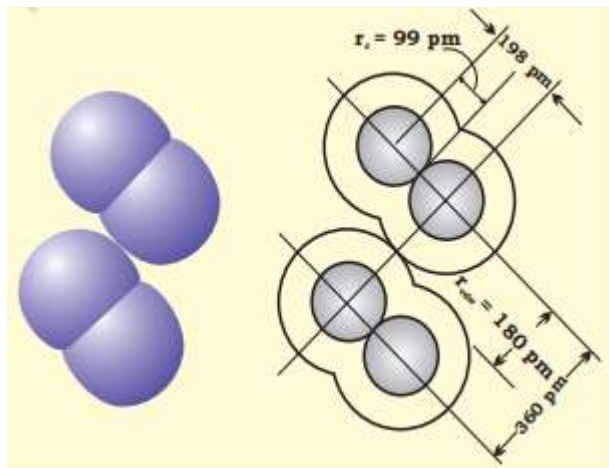
1.4.1 Panjang Ikatan

Panjang ikatan didefinisikan sebagai kesetimbangan jarak antara inti dua ikatan atom dalam suatu molekul. Panjang ikatan adalah diukur dengan spektroskopi, difraksi sinar-X dan teknik difraksi elektron tentang hal ini akan anda pelajari di kelas yang lebih tinggi. Setiap atom dari pasangan terikat berkontribusi terhadap panjang ikatan (Gambar. 1.1). Dalam kasus ikatan kovalen, kontribusi dari masing-masing atom adalah disebut jari-jari kovalen atom.

Jari-jari kovalen diukur kira-kira sebesar jari-jari atom inti yang bersentuhan dengan inti atom yang berdekatan dalam keadaan terikat. Itu jari-jari kovalen adalah setengah jarak antara dua atom serupa yang bergabung melalui ikatan kovalen dalam molekul yang sama. Radius Van der Waals mewakili ukuran keseluruhan atom yang mempunyai kulit valensinya pada situasi tidak terikat. Selanjutnya, jari-jari Van der Waals adalah setengah jarak antara dua atom serupa dalam molekul terpisah. Jari-jari kovalen dan van der Waals klorin digambarkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.1. Panjang ikatan pada suatu kovalen molekul AB. $R = r_A + r_B$ (R adalah panjang ikatan dan r_A dan r_B adalah jari-jari kovalen atom A dan B, masing-masing)

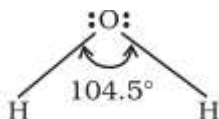


Gambar 1.2. Jari-jari kovalen dan Van der Waals masuk sebuah molekul klorin. Lingkaran dalam sesuai dengan ukuran klorin atom (rvdw dan r_c adalah van der Waals dan jari-jari kovalen masing-masing).

Beberapa rata-rata panjang ikatan yang khas untuk ikatan tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga ditunjukkan pada Tabel 1.2. Panjang ikatan untuk beberapa hal umum molekul diberikan pada Tabel 1.3. Jari-jari kovalen dari beberapa persamaan elemen tercantum pada Tabel 1.4.

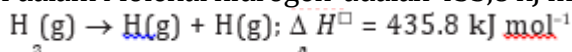
1.4.2 Sudut Ikatan

Dapat didefinisikan sebagai sudut antara orbital yang mengandung pasangan elektron ikatan disekeliling atom pusat dalam suatu molekul/ion kompleks. Menjalin kedekatan sudut dinyatakan dalam derajat yang bisa ditentukan secara eksperimental dengan metode spektroskopi. Ini memberikan beberapa gambaran mengenai distribusi orbital di sekitar pusat atom dalam molekul/ion kompleks dan karenanya dapat membantu kita dalam menentukan bentuknya. Untuk contoh sudut ikatan H-O-H dalam air adalah direpresentasikan seperti di bawah:

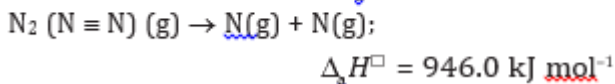
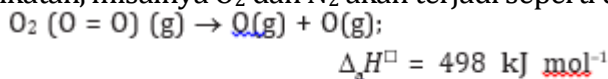


1.4.3 Entalpi Ikatan

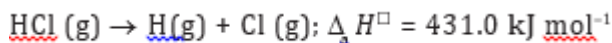
Ini didefinisikan sebagai jumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu mol ikatan tertentu antara dua atom dalam keadaan gas. Satuan entalpi ikatan adalah kJ mol^{-1} . Misalnya, entalpi ikatan H - H dalam Molekul hidrogen adalah $435,8 \text{ kJ mol}^{-1}$



Demikian pula entalpi ikatan molekul mengandung banyak ikatan, misalnya O_2 dan N_2 akan terjadi seperti di bawah ini:



Penting untuk memperbesar disosiasi ikatan entalpi, sehingga semakin kuat pula ikatan dalam molekul. Untuk heteronuklir molekul diatomik seperti HCl yang kita miliki



Dalam kasus molekul poliatomik, pengukuran kekuatan ikatan lebih rumit. Misalnya dalam kasus molekul H_2O , maka entalpi yang dibutuhkan untuk memecahnya dua ikatan O – H tidak sama.

Tabel 1.2. Rata-rata Panjang Obligasi untuk Beberapa Ikatan Tunggal, Ganda dan Tripel.

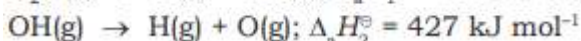
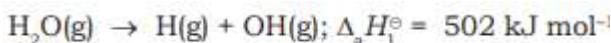
Bond Type	Covalent Bond Length (pm)
O–H	96
C–H	107
N–O	136
C–O	143
C–N	143
C–C	154
C=O	121
N=O	122
C=C	133
C=N	138
C≡N	116
C≡C	120

Tabel 1.3. Panjang Ikatan pada Beberapa Persamaan Molekul

Molecule	Bond Length (pm)
H_2 (H – H)	74
F_2 (F – F)	144
Cl_2 (Cl – Cl)	199
Br_2 (Br – Br)	228
I_2 (I – I)	267
N_2 (N ≡ N)	109
O_2 (O = O)	121
HF (H – F)	92
<u>HCl</u> (H – Cl)	127
<u>HBr</u> (H – Br)	141
HI (H – I)	160

Tabel 1.4. Jari-jari Kovalen, $r_{\text{cov}}/(\text{pm})$

H	37						
C	77(1)	N	74 (1)	O	66(1)	F	64
	67 (2)		65(2)		57 (2)	Cl	99
	60(3)		55(3)				
		P	110	S	104(1)	Br	114
					95(2)		
		As	121	Se	104	I	133
		Sb	141	Te	137		



Terlihat perbedaan nilai $\Delta_{\text{a}}H^\ominus$ yang mengalami ikatan kedua O – H terjadi beberapa perubahan karena perubahan dari kimia lingkungan. Inilah alasannya bagi sebagian orang pada perbedaan energi ikatan O – H yang sama dalam molekul yang berbeda seperti $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (etanol) dan air. Oleh karena itu dalam molekul poliatomik istilah rata-rata atau entalpi ikatan rata-rata digunakan. Itu diperoleh dengan membagi total entalpi ikatan terdisosiasi dengan jumlah ikatan rusak seperti dijelaskan di bawah jika terjadi pada molekul air,

$$\begin{aligned} \text{Average bond enthalpy} &= \frac{502 + 427}{2} \\ &= 464.5 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

1.4.4 Orde Ikatan

Dalam deskripsi Lewis tentang ikatan kovalen, orde ikatan diberikan dengan nomor ikatan antara dua atom dalam molekul. Urutan ikatan, misalnya pada H_2 (dengan satu pasangan elektron bersama), dalam O_2 (dengan dua pasangan elektron bersama) dan N_2 (dengan tiga pasangan elektron bersama) adalah 1,2,3 masing-masing. Demikian pula di CO (tiga bersama pasangan elektron antara C dan O) ikatan ordenya adalah 3. Untuk N_2 , orde ikatannya

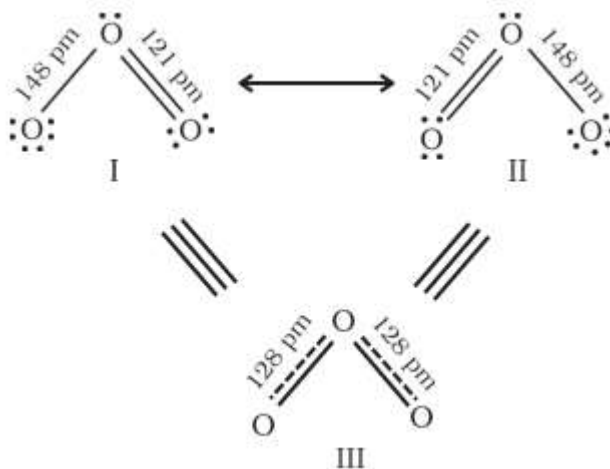
adalah 3 dan nilai $\Delta_a H^\circ$ adalah 946 kJ mol^{-1} ; menjadi salah satu yang tertinggi untuk molekul diatomik.

Molekul dan ion isoelektronik memiliki orde ikatan yang identik; misalnya F_2 dan O_2^{2-} mempunyai orde ikatan 1. N_2 , CO dan NO^+ memiliki pesanan ikatan 3.

Korelasi umum digunakan untuk tujuan ini untuk memahami kestabilan molekul adalah: dengan meningkatnya orde ikatan, entalpi ikatan meningkat dan panjang ikatan berkurang.

1.4.5 Struktur Resonansi

Sering diamati bahwa struktur Lewis tunggal tidak cukup untuk mewakili molekul yang sesuai dengan parameter eksperimen yang ditentukan. Misalnya, ozon, molekul O_3 dapat terwakili secara merata oleh struktur I dan II yang ditunjukkan di bawah ini:



Gambar 1.3. Resonansi pada molekul O_3

Di kedua struktur kami memiliki ikatan tunggal $\text{O}-\text{O}$ dan ikatan rangkap $\text{O}=\text{O}$. Panjang ikatan $\text{O}-\text{O}$ dan $\text{O}=\text{O}$ adalah 148 pm dan 121 pm untuk masing-masing. Secara eksperimental menentukan panjang ikatan oksigen-oksigen dalam molekul O_3 sama (128 pm). Demikianlah ikatan oksigen-oksigen pada molekul O_3 adalah perantara antara ganda dan tunggal yang menjalin

kedekatan. Tentu saja hal ini tidak dapat diwakilkan oleh salah satu dari dua struktur Lewis yang ditunjukkan di atas.

Konsep resonansi diperkenalkan untuk menghadapi jenis kesulitan yang dialami dalam penggambaran struktur yang akurat molekul seperti O_3 . Sesuai dengan konsep resonansi, setiap kali struktur Lewis tunggal tidak dapat menggambarkan suatu molekul secara tepat, sejumlah struktur dengan energi yang sama, posisi inti, ikatan dan pasangan elektron non-ikatan adalah diambil sebagai struktur kanonik dari hibrida yang mendeskripsikan molekul secara akurat. Jadi untuk O_3 , kedua struktur tersebut yang ditunjukkan di atas merupakan kanonik struktur atau struktur resonansi dan hibrida mereka yaitu, struktur III mewakili struktur O_3 lebih akurat. Ini juga disebut hibrida resonansi. Resonansi diwakili oleh panah berkepala dua.

Beberapa contoh resonansi lainnya pada struktur disediakan oleh ion karbonat dan molekul karbon dioksida.

Secara umum dapat dikatakan demikian

1. Resonansi menstabilkan molekul sebagai energi hibrida resonansi lebih kecil daripada energy dari struktur canonical tunggal; Dan,
2. Karakteristik resonansi ikatan rata-rata secara keseluruhan. Demikian energi resonansi hybrid O_3 lebih rendah dari kedua bentuk cannonical I dan II (Gambar. 1.3).

1.4.6 Polaritas Ikatan

Keberadaan seratus persen ikatan ionik atau kovalen dapat mewakili situasi yang ideal. Pada kenyataannya tidak ada ikatan atau senyawa yang merupakan keduanya sepenuhnya kovalen atau ionik. Bahkan dalam kasus ikatan kovalen antara dua atom hidrogen, ada beberapa karakter ionik.

Ketika ikatan kovalen terbentuk antara dua atom serupa, misalnya pada H_2 , O_2 , Cl_2 , N_2 atau F_2 , pasangan elektron yang digunakan bersama adalah sama-sama tertarik oleh kedua atom tersebut. Akibatnya pasangan elektron terletak tepat di antara dua inti yang identik. Ikatan yang terbentuk adalah ikatan kovalen nonpolar. Berbeda dengan ini dalam kasus molekul heteronuklear seperti HF, pasangan elektron bersama antara keduanya atom akan

lebih banyak dipindahkan ke arah fluor karena keelektronegatifan fluor jauh lebih besar dibandingkan hidrogen. Ikatan kovalen yang dihasilkan adalah kovalen polar menjalin kedekatan.

Akibat polarisasi, molekul memiliki momen dipol (digambarkan dibawah) yang dapat didefinisikan sebagai produk dari besarnya muatan dan jaraknya antara pusat positif dan negatif yang mempunyai muatan. Biasanya dilambangkan dengan bahasa Yunani huruf ' μ '. Secara matematis dinyatakan sebagai berikut :

Momen dipol (μ) = muatan (Q) $\times$ jarak pemisahan (r)

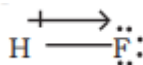
Momen dipol biasanya dinyatakan dalam Unit Debye (D).

Faktor konversinya adalah

$$1 \text{ D} = 3,33564 \times 10^{-30} \text{ C m}$$

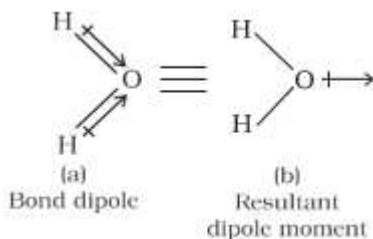
dimana C adalah coulomb dan m adalah meter

Momen dipol selanjutnya merupakan besaran vektor dan menurut konvensi itu digambarkan sebagai panah kecil dengan ekor di tengah tanda negatif dan kepala mengarah ke pusat positif. Namun dalam kimia terdapat momen dipol dilambangkan dengan tanda panah menyilang ($\overset{+}{\text{H}} \longleftrightarrow \text{F}^{\cdot\cdot}$) memakai struktur molekul Lewis. Salib ada di ujung positif dan kepala panah mengarah pada akhir tanda negatif. Misalnya momen dipol HF dapat direpresentasikan sebagai berikut:



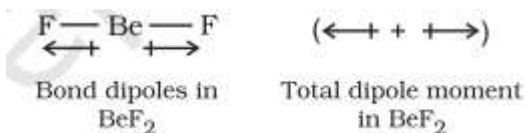
Panah ini melambangkan arah pergeseran kerapatan elektron dalam molekul. Catatan bahwa arah panah yang bersilangan dan berlawanan dengan arah momen dipol vektor konvensional.

Dalam kasus molekul poliatomik, momen dipol tidak hanya bergantung pada individu momen dipol ikatan yang disebut ikatan dipol tetapi juga pada penataan ruang berbagai ikatan dalam molekul. Dalam hal ini, momen dipol suatu molekul adalah jumlah vektor momen dipol berbagai ikatan. Misalnya pada molekul H_2O yang memiliki struktur bengkok, dua ikatan O-H adalah berorientasi pada sudut $104,5^\circ$. Dipol bersih momen $6,17 \times 10^{-30} \text{ C m}$ ($1\text{D} = 3,33564 \times 10^{-30} \text{ C m}$) adalah resultan momen dipol pada dua ikatan O-H.

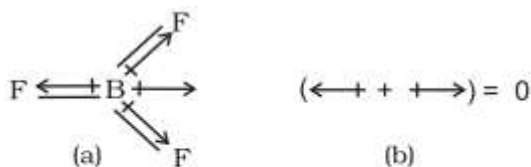


Momen Dipol Bersih, $\mu = 1,85 \text{ D} = 1,85 \times 3,33564 \times 10^{-30} \text{ C m} = 6,17 \times 10^{-30} \text{ C m}$

Momen dipol pada kasus BeF_2 adalah nol. Hal ini karena dua dipol ikatan sama besar diarahkan ke arah yang berlawanan dan efek satu sama lain dibatalkan.



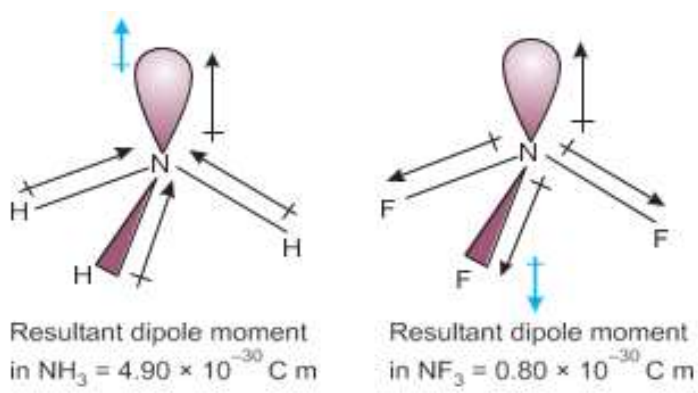
Dalam molekul tetra atom, misalnya dalam BF_3 , momen dipolnya nol meskipun Ikatan B – F berorientasi pada sudut 120° antara satu sama lainnya, tiga momen ikatan memberi jumlah bersih nol sebagai resultan dua bilangan bulat yang sama dan berlawanan dengan yang ketiga.



*BF_3 molecule; representation of
(a) bond dipoles and (b) total dipole moment*

Mari kita pelajari kasus NH_3 yang cukup menarik dan molekul NF_3 . Kedua molekul tersebut memiliki bentuk piramidal dengan pasangan elektron bebas pada atom nitrogen. Meskipun Fluor lebih banyak elektronegatif dibandingkan nitrogen, momen dipol resultan NH_3 ($4,90 \times 10^{-30} \text{ C m}$) adalah lebih besar dari NF_3 ($0,8 \times 10^{-30} \text{ C m}$). Ini karena, dalam kasus NH_3 , dipol orbitalnya karena pasangan mandiri berada pada arah yang sama momen

dipol resultan ikatan N – H, sedangkan dipol orbital NF₃ masuk pada arah yang berlawanan dengan dipol resultan momen dari tiga ikatan N–F. Dipol orbital pasangan elektron bebas dapat mengurangi efek dari momen ikatan N – F yang dihasilkan, yang mana menghasilkan momen dipol rendah NF₃ syang diwakilkan di bawah ini:



Momen dipol beberapa molekul ditunjukkan pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5. Momen Dipol Molekul Terpilih

Type of Molecule	Example	Dipole Moment, $\mu(\text{D})$	Geometry
Molecule (AB)	HF	1.78	linear
	HCl	1.07	linear
	HBr	0.79	linear
	HI	0.38	linear
	H ₂	0	linear
Molecule (AB₂)	H ₂ O	1.85	bent
	H ₂ S	0.95	bent
	CO ₂	0	linear
Molecule (AB₃)	NH ₃	1.47	trigonal-pyramidal
	NF ₃	0.23	trigonal-pyramidal
	BF ₃	0	trigonal-planar
Molecule (AB₄)	CH ₄	0	tetrahedral
	CHCl ₃	1.04	tetrahedral
	CCl ₄	0	tetrahedral

1. Sama seperti semua ikatan kovalen beberapa karakter ionik parsial, ikatan ionik juga memiliki karakter kovalen parsial. Sifat ikatan kovalen parsial ionik dibahas oleh Fajans dalam aturan berikut:

1. Semakin kecil ukuran kation dan semakin besar ukuran anionnya maka semakin besar pula sifat kovalen dari ikatan ionik.
2. Semakin besar muatan kation, maka semakin besar sifat kovalen dari ikatan ioniknya
3. Untuk kation dengan ukuran dan muatan yang sama, yang satu, dengan konfigurasi elektronik $(n-1) d^n ns^0$, sifat khas pada logam transisi, lebih terpolarisasi daripada yang memiliki konfigurasi gas mulia, $ns^2 np^6$, sifat khas logam kation alkali dan alkali tanah.

Kation mempolarisasi anion, menarik muatan elektronik terhadap dirinya sendiri dan sehingga meningkatkan muatan elektronik di antara keduanya. Inilah tepatnya yang terjadi terjadi dalam ikatan kovalen, yaitu penumpukan kerapatan muatan elektron antara inti. Kekuatan polarisasi kation, polarisasi anion dan tingkat distorsi (polarisasi) anion adalah faktor-faktor yang menentukan karakter kovalen dari ikatan ionik.

1.5 Elektron Kulit Valensi Teori Tolakan Berpasangan (VSEPR).

Seperti yang sudah dijelaskan, konsep Lewis tidak mampu untuk menjelaskan bentuk molekul. Teori ini memberikan prosedur sederhana untuk memprediksi bentuk molekul kovalen. Sidgwick dan Powell pada tahun 1940, mengajukan teori sederhana berdasarkan interaksi tolak-menolak dari pasangan elektron pada kulit valensi atom. Ini selanjutnya dikembangkan lebih lanjut dan didefinisikan ulang oleh Nyholm dan Gillespie (1957).

Postulat utama teori VSEPR adalah sebagai berikut:

1. Bentuk molekul bergantung pada jumlah pasangan elektron kulit valensi (berikat atau tidak terikat) di sekitar pusat atom.
2. Pasangan elektron pada kulit valensi akan tolak-menolak satu sama lain karena awan elektronnya bermuatan negatif.
3. Pasangan elektron ini cenderung menempati posisi seperti itu dalam ruang yang diminimalkan tolakan dan dengan demikian memaksimalkan jarak diantara mereka.

4. Kulit valensi diambil sebagai sebuah bola dengan pasangan elektron terlokalisasi pada permukaan bola pada jarak maksimum dari satu sama lain.
5. Ikatan ganda diperlakukan seolah-olah merupakan ikatan tunggal
6. pasangan elektron dan dua atau tiga elektron pasangan ikatan ganda diperlakukan sebagai pasangan super tunggal.
7. Dimana dua atau lebih struktur resonansi dapat mewakili sebuah molekul, model VSEPR ini dapat diterapkan pada struktur apa pun.

Interaksi tolak menolak pasangan elektron melalui penurunan urutan:

Pasangan mandiri (lp) – Pasangan mandiri (lp) > Pasangan mandiri (lp) – Pasangan ikatan (bp) > Pasangan ikatan (bp) – Pasangan ikatan (bp)

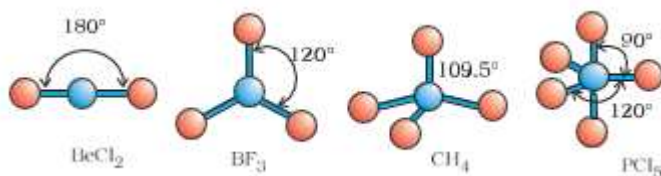
Nyholm dan Gillespie (1957) menyempurnakan Model VSEPR dengan menjelaskan pentingnya perbedaan antara pasangan mandiri dan ikatan pasangan elektron. Sedangkan pasangan mandiri telah terlokalisasi pada atom pusat, masing-masing terikat pada pasangan yang dibagi antara dua atom. Sebagai akibat, pasangan elektron bebas dalam suatu molekul menempati lebih banyak ruang dibandingkan dengan pasangan ikatan elektron. Hal ini menghasilkan gaya tolak menolak yang lebih besar antara pasangan elektron bebas dibandingkan ke pasangan mandiri - pasangan ikatan dan pasangan ikatan - tolakan pasangan ikatan. Efek tolakan ini mengakibatkan penyimpangan dari bentuk ideal dan perubahan sudut ikatan pada molekul.

Untuk memprediksi bentuk geometris molekul dengan bantuan teori VSEPR, akan lebih mudah untuk membagi molekul menjadi dua kategori sebagai (i) molekul di mana atom pusat tidak memiliki pasangan mandiri dan (ii) molekul yang mempunyai atom pusat dan mempunyai satu atau lebih pasangan mandiri.

Tabel 1.6 menunjukkan susunan pasangan elektron di sekitar atom pusat A (tanpa pasangan elektron bebas) dan geometri beberapa molekul/ion dari jenis AB. Tabel 1.7 memperlihatkan beberapa bentuk molekul dan ion sederhana yang pusat atomnya

mempunyai satu atau lebih pasangan elektron bebas. Tabel 1.8 menjelaskan alasan terjadinya distorsi geometri molekul.

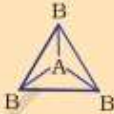
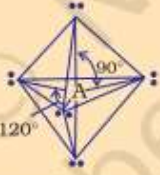
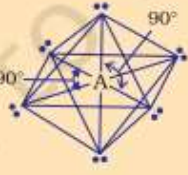
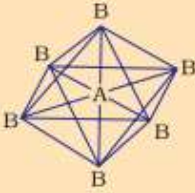
Digambarkan pada Tabel 1.6, senyawa AB_2 , AB_3 , AB_4 , AB_5 dan AB_6 , susunan pasangan elektron dan Atom B yang mengelilingi atom pusat A adalah : linier, trigonal planar, tetrahedral, trigonal-bipiramidal dan oktahedral, masing-masing. Susunan seperti itu bisa dilihat dalam molekul seperti BF_3 (AB_3), CH_4 (AB_4) dan PCl_5 (AB_5) seperti yang digambarkan dibawah ini oleh bola dan model tongkat.



Gambar 1.4. Bentuk molekul dimana atom pusat tidak mempunyai pasangan mandiri

Teori VSEPR mampu memprediksi geometri sejumlah besar molekul, khususnya senyawa unsur blok p secara akurat. Ini juga cukup berhasil menentukan geometri dengan cukup akurat bahkan ketika perbedaan energi antara struktur yang mungkin terjadi sangat kecil. Itu landasan teori teori VSEPR mengenai efek tolakan pasangan elektron pada bentuk molekul tidak jelas dan berlanjut menjadi bahan keraguan dan diskusi.

Tabel 1.6. Geometri Molekul yang Atom Pusatnya Tidak Memiliki Pasangan Elektron Sendiri

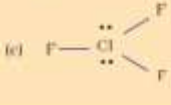
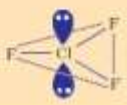
Number of electron pairs	Arrangement of electron pairs	Molecular geometry	Examples
2	 Linear	B—A—B Linear	BeCl ₂ , HgCl ₂
3	 Trigonal planar	 Trigonal planar	BF ₃
4	 Tetrahedral	 Tetrahedral	CH ₄ , NH ₄ ⁺
5	 Trigonal bipyramidal	 Trigonal bipyramidal	PCl ₅
6	 Octahedral	 Octahedral	SF ₆

Tabel 1.7. Bentuk (Geometri) Beberapa Molekul/Ion Sederhana yang Memiliki Ion Pusat Satu atau Lebih Pasangan Elektron Sendirian (E).

Molecule type	No. of bonding pairs	No. of lone pairs	Arrangement of electron pairs	Shape	Examples
AB ₂ E	2	1	 Trigonal planar	Bent	SO ₂ , O ₃
AB ₃ E	3	1	 Tetrahedral	Trigonal pyramidal	NH ₃
AB ₂ E ₂	2	2	 Tetrahedral	Bent	H ₂ O
AB ₄ E	4	1	 Trigonal bi-pyramidal	Square planar	SF ₄
AB ₃ E ₂	3	2	 Trigonal bi-pyramidal	T-shape	ClF ₃
AB ₅ E	5	1	 Octahedral	Square pyramidal	BrF ₅
AB ₆ E	6	2	 Octahedral	Square planar	XeF ₄

Tabel 1.8. Bentuk Molekul yang Mengandung Pasangan Ikatan dan Pasangan Mandiri

Molecule type	No. of bonding pairs	No. of lone pairs	Arrangement of electrons	Shape	Reason for the shape acquired
AB_2E	4	1		Bent	Theoretically the shape should have been triangular planar but actually it is found to be bent or v-shaped. The reason being the lone pair-bond pair repulsion is much more as compared to the bond pair-bond pair repulsion. So the angle is reduced to 119.5° from 120° .
AB_3E	3	1		Trigonal pyramidal	Had there been a bp in place of lp the shape would have been tetrahedral but one lone pair is present and due to the repulsion between $lp-lp$ (which is more than $lp-bp$ repulsion) the angle between bond pairs is reduced to 107° from 109.5° .
AB_2E_2	2	2		Bent	The shape should have been tetrahedral if there were all bp but two lp are present so the shape is distorted tetrahedral or angular. The reason is $lp-lp$ repulsion is more than $lp-bp$ repulsion which is more than $bp-bp$ repulsion. Thus, the angle is reduced to 104.5° from 109.5° .
AB_4E	4	1		See-saw	In (a) the lp is present at axial position so there are three $lp-bp$ repulsions at 90° . In (b) the lp is in an equatorial position, and there are two $lp-bp$ repulsions. Hence, arrangement (b) is more stable. The shape shown in (b) is described as a distorted tetrahedron, a folded square or a see-saw.

Molecule type	No. of bonding pairs	No. of lone pairs	Arrangement of electrons	Shape	Reason for the shape acquired
AB ₃ E ₂	3	2		T-shape	
			 		In (a) the <u>lp</u> are at equatorial position so there are less <u>lp-lp</u> repulsions as compared to others in which the <u>lp</u> are at axial positions. So structure (a) is most <u>stable</u> . (T-shaped).
			 		
			 		

1.6 Teori Ikatan Valensi

Seperti yang kita ketahui bahwa pendekatan Lewis membantu menulis struktur molekul tetapi gagal menjelaskan pembentukan struktur ikatan kimia. Ia juga tidak memberikan alasan apa pun atas hal tersebut pada perbedaan entalpi disosiasi ikatan dan panjang ikatan dalam molekul seperti H_2 ($435,8 \text{ kJ mol}^{-1}$, 74 pm) dan F_2 (155 kJ mol^{-1} , 144 pm), meskipun dalam kedua kasus tersebut merupakan ikatan kovalen tunggal yang terbentuk melalui penggunaan bersama elektron pasangan antara masing-masing atom. Juga tidak memberikan gambaran tentang bentuk-bentuk poliatomik molekul. Demikian pula teori VSEPR memberikan geometri molekul sederhana tetapi secara teoritis, hal itu tidak dapat menjelaskannya dan juga terbatas pada aplikasi. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut dua teori penting berdasarkan kuantum prinsip mekanis yang telah diperkenalkan. Adapun teori tersebut adalah teori ikatan valensi (VB) dan teori orbital molekul (MO).

Teori ikatan valensi diperkenalkan oleh Heitler dan London (1927) dan dikembangkan lebih lanjut oleh Pauling dan lain-lain. Pembahasan teori ikatan valensi didasarkan pada pengetahuan tentang orbital atom, elektronik konfigurasi elemen, hal itu kriteria

dari tumpang tindih orbital atom, hibridisasi orbital atom dan prinsip variasi dan superposisi. Perlakuan ketat terhadap teori VB dalam istilah untuk aspek-aspek ini berada diluar cakupan chapter ini. Oleh karena itu, demi kenyamanan, teori ikatan valensi telah dibahas dilihat dari segi kualitatif dan non matematis. Untuk memulainya, mari kita pertimbangkan pembentukan molekul hidrogen yaitu yang paling sederhana dari semua molekul.

Perhatikan dua atom hidrogen A dan B saling mendekat yang mempunyai inti N_A dan N_B dan elektron yang ada di dalamnya adalah diwakilkan oleh e_A dan e_B . Ketika dua atom berada pada jarak yang jauh satu sama lain, di sana tidak ada interaksi di antara 2 atom. Seperti kedua atom saling mendekat, menarik dan kekuatan tolak mulai bekerja.

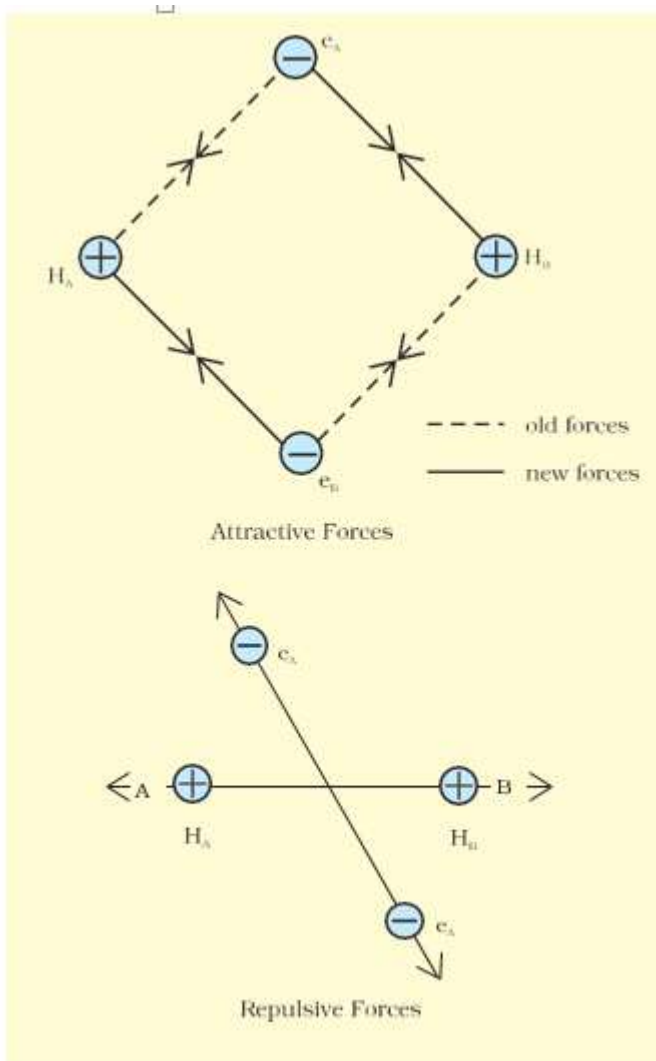
Kekuatan tarik - menarik muncul antara:

1. Inti satu atom dan elektronnya sendiri yaitu $N_A - e_A$ dan $N_B - e_B$.
2. Inti dari satu atom dan elektron dari atom lain yaitu $N_A - e_B$, $N_B - e_A$.

Demikian pula gaya tolak menolak muncul diantara keduanya

1. Elektron dari dua atom seperti $e_A - e_B$,
2. Inti dua atom $n_A - n_B$.

Kekuatan yang menarik cenderung mempertemukan kedua atom berdekatan satu sama lain sedangkan bersifat tolak menolak dimana kekuatannya cenderung mendorong mereka terpisah (Gambar 1.5).

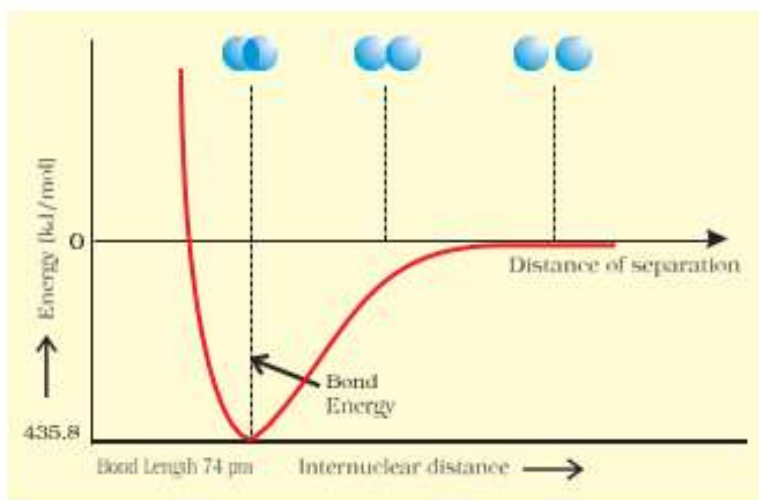
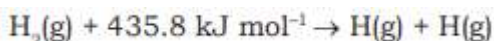


Gambar 1.5. Gaya tarik menarik dan tolak menolak selama pembentukan molekul H_2

Secara eksperimental telah ditemukan bahwa besarnya gaya tarik menarik baru adalah lebih dari kekuatan tolak menolak baru. Sebagai Hasilnya, dua atom saling mendekat dan energi potensial berkurang. Pada akhirnya sebuah bagian yang tercapai di mana gaya tarik-menarik total menyeimbangkan kekuatan tolakan dan sistem memperoleh energi minimum. Dibagian ini dua atom hidrogen

dikatakan terikat bersama untuk membentuk molekul stabil yang memiliki panjang ikatan 74 pm.

Karena energi dilepaskan ketika ikatan terbentuk antara dua atom hidrogen, molekul hidrogen lebih stabil daripada atom hidrogen yang terisolasi. Energi yang dilepaskan digambarkan sebagai entalpi ikatan, yang mana sesuai dengan minimum pada kurva digambarkan pada Gambar 1.6. Sebaliknya, 435,8 kJ dari energi diperlukan untuk memisahkan satu mol molekul H_2 .



Gambar 1.6. Kurva energi potensial untuk pembentukan molekul H_2 sebagai suatu fungsi jarak antar inti atom H. Minimum dalam kurva sesuai ke keadaan paling stabil H_2 .

1.6.1 Konsep Tumpang Tindih Orbital

Dalam pembentukan molekul hidrogen, ada keadaan energi minimum ketika dua atom hidrogen sangat dekat sehingga atom orbital mengalami interpenetrasi parsial. Ini penggabungan sebagian orbital atom disebut tumpang tindih orbital atom yang menghasilkan pasangan elektron. Tingkat tumpang tindih menentukan kekuatan ikatan kovalen. Secara umum, semakin besar tumpang tindihnya maka semakin kuat pula ikatan yang terbentuk

antara dua atom. Karena itu, menurut konsep tumpang tindih orbital, pembentukan ikatan kovalen antara kedua atom dihasilkan oleh pasangan elektron yang ada dalam kulit valensi yang memiliki putaran berlawanan.

1.6.2 Sifat Arah Obligasi

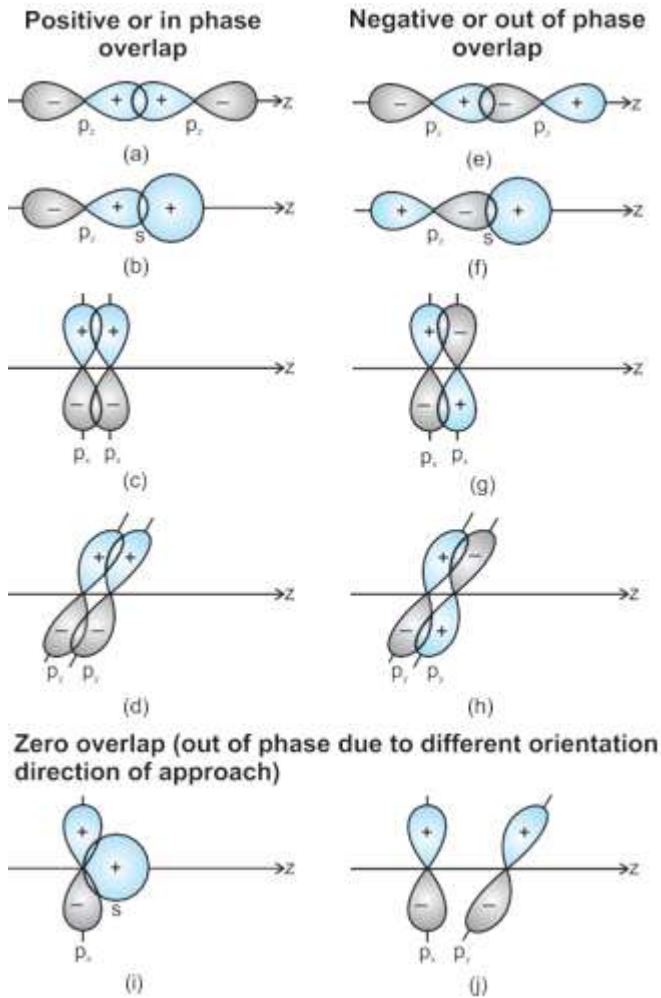
Seperti yang telah kita lihat, ikatan kovalen terbentuk karena tumpang tindih orbital atom. Molekul hidrogen terbentuk karena tumpang tindih orbital 1s dari dua atom H. Dalam kasus molekul poliatomik seperti CH_4 , NH_3 dan H_2O , geometri molekul juga penting selain pembentukan ikatan. Misalnya kenapa bisa jadi CH_4 molekulnya berbentuk tetrahedral dan HCH sudut ikatannya $109,5^\circ$? Mengapa bentuknya Piramida molekul NH_3 ? Teori ikatan valensi menjelaskan hal tersebut bentuk, formasi dan sifat arah ikatan dalam molekul poliatomik seperti CH_4 , NH_3 dan H_2O , dll serat dalam hal tumpang tindih dan hibridisasi orbital atom.

1.6.3 Tumpang tindih Orbital Atom

Ketika orbital dua atom hampir terbentuk ikatan, tumpang tindihnya mungkin positif, negatif atau nol tergantung pada tanda (fase) dan arah orientasi amplitudo orbital fungsi gelombang dalam ruang (Gambar 1.7). Tanda positif dan tanda negatif pada diagram batas permukaan pada Gambar 1.7 menunjukkan tanda (fase) orbital fungsi gelombang dan tidak berhubungan dengan muatan. Orbital-orbital yang membentuk ikatan harus mempunyai tanda yang sama (fase) dan orientasi dalam ruang. Ini disebut tumpang tindih positif. Berbagai tumpang tindih orbital s dan p digambarkan pada Gambar 1.7.

Kriteria tumpang tindih, sebagai faktor utama untuk pembentukan ikatan kovalen berlaku seragam terhadap heteronuclear pada molekul diatomik dan molekul poliatomik. Kita mengetahui bentuk molekul CH_4 , NH_3 , dan H_2O berbentuk tetrahedral, piramidal dan bengkok, masing-masing. Oleh karena itu, hal itu akan menarik untuk menggunakan teori VB untuk mengetahui apakah ini bentuk geometris yang dapat dijelaskan menggunakan istilah orbital tumpang tindih.

Mari kita perhatikan dulu molekul CH_4 (metana). Konfigurasi elektronik dari karbon dalam keadaan dasarnya adalah $[\text{He}]2s^2 2p^2$ yang mana dalam keadaan tereksitasi menjadi $[\text{He}] 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$. Energi yang diperlukan untuk eksitasi ini adalah dikompensasi oleh pelepasan energi karena tumpang tindih antara orbital karbon dan hidrogen. Empat orbital atom karbon, masing-masing dengan elektron yang tidak berpasangan dapat tumpang tindih dengan orbital $1s$ dari empat atom H yang juga ditempati sendirian. Hal ini akan mengakibatkan pembentukan empat ikatan C-H. Namun, hal ini akan diamati bahwa sementara tiga orbital p dari karbon berada pada sudut 90° satu sama lain, HCH sudut untuk ini juga akan menjadi 90° . Itu tiga ikatan C-H akan berorientasi pada 90° untuk satu dengan yang lainnya. Orbital karbon $2s$ dan orbital $1s$ pada orbital H berbentuk simetris bola dan mereka bisa tumpang tindih ke segala arah. Karena itu arah keempat ikatan C-H tidak bisa dipastikan. Deskripsi ini tidak cocok dengan sudut HCH tetrahedral yaitu $109,5^\circ$. Jelasnya, ini mengikuti orbital atom sederhana tumpang tindih tidak memperhitungkan arah karakteristik ikatan pada CH_4 . Menggunakan prosedur dan argument yang serupa, dapat dilihat bahwa untuk molekul NH_3 dan H_2O , sudut HNH dan HOH harus 90° . Ini masuk ketidaksepakatan dengan sudut ikatan sebenarnya 107° dan $104,5^\circ$ pada molekul NH_3 dan H_2O masing-masing.



Gambar 1.7. Tumpang tindih positif, negatif dan nol orbital atom s dan p

1.6.4 Jenis Tumpang Tindih dan Sifatnya

Ikatan kovalen

Ikatan kovalen dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis tergantung pada jenisnya tumpang tindihnya:

(i) ikatan Sigma(σ), dan (ii) ikatan pi(π).

(i) Ikatan Sigma(σ) : Jenis kovalen ini ikatan terbentuk oleh tumpang tindih orbital ikatan ujung ke ujung (head-on) disepanjang sumbu antar inti. Ini disebut sebagai kepala pada tumpang tindih atau tumpang tindih aksial. Ini bisa jadi dibentuk oleh salah satu dari tipe kombinasi orbital atom.

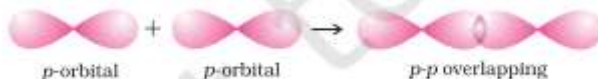
1. Tumpang tindih s-s: Dalam hal ini, ada tumpang tindih dua orbital s yang setengah terisi sumbu antar inti seperti gambar dibawah ini :



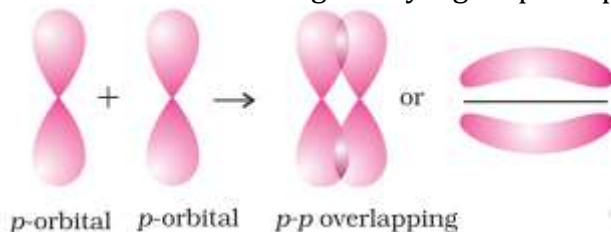
2. tumpang tindih s-p: Jenis tumpang tindih ini terjadi antara orbital s yang terisi setengah dari satu atom dan setengah terisi orbital p dari atom lain.



3. tumpang tindih p-p: Jenis tumpang tindih ini terjadi antara orbital p yang terisi setengah dari dua atom yang mendekat.



(ii) ikatan pi(π) : Dalam pembentukan ikatan π orbital atom tumpang tindih sedemikian rupa sedemikian rupa sehingga sumbunya tetap sejajar satu sama lain dan tegak lurus terhadap sumbu antar inti. Orbital terbentuk karena tumpang tindih ke samping yang terdiri dari dua awan bermuatan tipe piring di atas dan di bawah bidang atom yang berpartisipasi.



1.6.5 Kekuatan Ikatan Sigma dan pi

Pada dasarnya kekuatan suatu ikatan tergantung pada tingkat tumpang tindih. Dalam kasus ikatan sigma, terjadi tumpang tindih orbital tempat secara lebih luas. Oleh karena itu, ini lebih kuat dibandingkan dengan ikatan pi dimana luasnya tumpang tindih terjadi pada tingkat yang lebih kecil. Dan lebih lanjut, penting untuk dicatat bahwa dalam pembentukan banyak ikatan antara dua atom suatu molekul, ikatan pi juga terbentuk selain ikatan sigma.

DAFTAR PUSTAKA

- Chang, R. 2014. "Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti". Penerbit Erlangga.
- Atkins, P., & de Paula, J. 2015. "Kimia Fisik". Penerbit Erlangga.
- McMurry, J., & Fay, R. C. 2016. "Kimia Organik". Penerbit Salemba Empat.
- Ncert.nic.in. Chemical Bonding And Molecular. Diakses pada tanggal 27 September 2023
<https://ncert.nic.in/textbook/pdf/kech104.pdf>

BAB 2

REAKSI – REAKSI ORGANIK

Oleh Henny Parida Hutapea

2.1 Sekilas Tentang Reaksi Organik

Semua reaksi kimia, baik yang terjadi di laboratorium atau di organisme hidup, mengikuti “aturan” yang sama. Reaksi dalam organisme hidup seringkali terlihat lebih kompleks daripada reaksi di laboratorium karena ukuran biomolekul dan keterlibatan katalis biologis yang disebut enzim, namun prinsip yang mengatur semua reaksi kimia adalah sama. Untuk memahami kimia organik, penting untuk mengetahui tidak hanya apa yang terjadi tetapi juga mengapa dan bagaimana reaksi kimia terjadi. Dalam bab ini, kita akan mulai dengan gambaran umum tentang jenis-jenis reaksi organik yang mendasar, kita akan melihat mengapa reaksi terjadi, dan kita akan melihat bagaimana reaksi dapat dijelaskan (McMurry, 2023).

Masing-masing jenis senyawa organik dapat diubah menjadi satu atau lebih senyawa lain, sehingga jumlah reaksi organik yang mungkin terjadi sangat besar, dan beberapa di antaranya tampak rumit. Namun, seperti yang kita lihat bahwa senyawa organik dikelompokkan ke dalam kelas-kelas berdasarkan gugus fungsinya, setiap reaksi organik yang diketahui termasuk dalam salah satu dari empat kelas dasar reaksi, atau merupakan kombinasi dari dua atau lebih dari empat kelas tersebut. Konsekuensinya, jika kita memahami keempat golongan reaksi ini, kita akan mampu memahami keseluruhan reaksi organik dan, oleh karena itu, semua ciri-ciri umum dari reaksi tersebut. Beberapa reaksi organik berlangsung sangat cepat dan menjadi sempurna segera setelah reaktan dapat dicampur, sedangkan beberapa reaksi berjalan sangat lambat (Okuyama and Maskill, 2014).

2.2 Memahami Reaksi Organik

Masing-masing jenis senyawa organik dapat diubah menjadi satu atau lebih senyawa lain, sehingga jumlah reaksi organik yang mungkin terjadi sangat besar, dan beberapa di antaranya tampak rumit. Namun, seperti yang kita lihat bahwa senyawa organik dikelompokkan ke dalam kelas-kelas berdasarkan gugus fungsinya, setiap reaksi organik yang diketahui termasuk dalam salah satu dari empat kelas dasar reaksi, atau merupakan kombinasi dari dua atau lebih dari empat kelas tersebut. Konsekuensinya, jika kita memahami keempat golongan reaksi ini, kita akan mampu memahami keseluruhan reaksi organik dan, oleh karena itu, semua ciri-ciri umum dari reaksi tersebut. Empat golongan reaksi dasar adalah substitusi, adisi, eliminasi, dan penataan ulang.

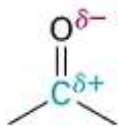
Molekul bereaksi karena bergerak. Mereka bergerak secara internal. Seluruh molekul bergerak terus menerus di ruang bebas, bertabrakan satu sama lain, menabrak dinding wadah tempat mereka berada, dan ke dalam pelarut jika berada dalam larutan. Ketika satu ikatan dalam satu molekul meregang terlalu kuat, ikatan tersebut dapat putus dan terjadi reaksi kimia. Ketika dua molekul bertemu satu sama lain, mereka mungkin bergabung dengan pembentukan ikatan baru, dan terjadilah reaksi kimia. Pertama-tama kita akan memikirkan tentang tumbukan antar molekul. Tidak semua tumbukan antar molekul menyebabkan perubahan kimia

Semua molekul organik memiliki lapisan terluar yang terdiri dari banyak elektron, yang menempati orbital terisi, ikatan dan nonikatan. Tolakan muatan-muatan antara elektron-elektron ini memastikan bahwa semua molekul saling tolak menolak. Reaksi hanya akan terjadi jika molekul diberi energi yang cukup (energi aktivasi untuk reaksi) agar molekul dapat melewati tolakan dan berada cukup dekat satu sama lain. Jika dua molekul kekurangan energi aktivasi yang diperlukan, mereka akan bertumbukan, masing-masing akan memantulkan elektron pada permukaan molekul lainnya dan bertukar energi, namun secara kimia tidak berubah. Energi aktivasi, juga disebut energi penghalang suatu reaksi, adalah energi minimum yang harus dimiliki molekul agar dapat bereaksi. Populasi molekul tertentu dalam larutan pada suhu kamar memiliki kisaran energi. Jika suatu reaksi ingin terjadi,

setidaknya sebagian reaksi harus mempunyai energi yang lebih besar daripada energi aktivasi (Clayden, Greeves and Warren, 2012).

2.2.1 Dasar Reaksi Organik

Untuk memahami reaksi kimia organik sangatlah mudah, kita hanya perlu memahami tiga hal dasar ini. Yang pertama adalah gugus fungsi. Gugus fungsi merupakan situs reaksi atau bagian molekul dimana reaksi tersebut terjadi, dan biasanya gugus fungsi itu mengandung heteroatom atau ikatan rangkap. Ada begitu banyak macam gugus fungsi. Yang kedua adalah kita perlu mengetahui situs atau bagian yang kaya elektron dan yang miskin elektron, seperti pada contoh pada gugus keton di bawah ini.

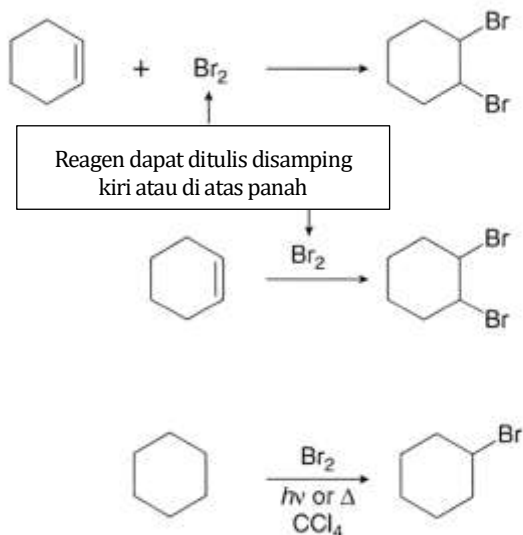


Bagian karbon merupakan bagian yang miskin elektron, sedangkan bagian oksigen merupakan bagian yang kaya elektron. Kemudian yang ketiga adalah kita harus mengidentifikasi ikatan yang mudah putus, karena ikatan ini yang akan mudah bereaksi.

2.2.2 Penulisan Reaksi Organik

Sebelum kita melanjutkan materi yang lebih dalam lagi, alangkah baiknya kita mengerti bagaimana cara menuliskan persamaan reaksi organik. Sesungguhnya menuliskan persamaan reaksi ini sama seperti pada umumnya, yaitu:

1. Reagen : ditulis disebelah kiri panah
2. Panah reaksi : terletak diantara reagen dan produk
3. Produk: ditulis disebelah kanan panah
4. Diatas/ dibawah panah reaksi dapat dituliskan reagen solven, ataupun parameter reaksi seperti temperatur, tekanan, cahaya dan lainnya.

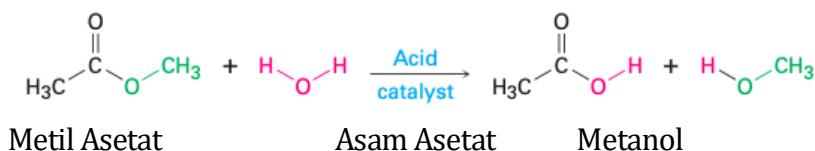


2.3 Jenis Reaksi Organik

Reaksi kimia organik dapat diatur secara umum dalam dua cara, berdasarkan jenis reaksi yang terjadi dan bagaimana reaksi tersebut terjadi. Mari kita lihat terlebih dahulu jenis-jenis reaksi yang terjadi. Ada empat jenis umum reaksi organik: adisi, eliminasi, substitusi, dan penataan ulang (McMurry, 2023).

1. Reaksi Substitusi

Terjadi ketika dua reaktan bertukar bagian menghasilkan dua produk baru. Contohnya adalah reaksi ester seperti metil asetat dengan air menghasilkan asam karboksilat ditambah alkohol. Reaksi serupa terjadi di banyak jalur biologis, termasuk metabolisme lemak makanan.

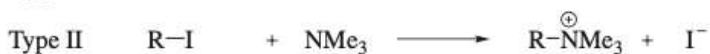
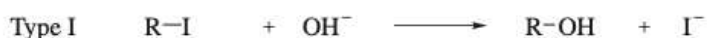


Jika heterolitik, maka dapat diklasifikasikan sebagai nukleofilik atau elektrofilik tergantung pada reaktan mana yang ditetapkan sebagai substrat dan mana sebagai reagen penyerang (seringkali Y harus terlebih dahulu dibentuk oleh pembelahan ikatan sebelumnya).

a. Substitusi nukleofilik



Pada substitusi nukleofilik alifatik, pereaksi penyerang (penyumbang elektron) (nukleofil) membawa pasangan elektron ke substrat, menggunakan pasangan ini untuk membentuk ikatan baru, dan gugus pergi (nukleofuge) melepaskan pasangan elektron.



Dalam semua kasus, Y harus mempunyai pasangan elektron yang tidak terbagi, sehingga semua nukleofil merupakan basa Lewis. Jika Y adalah pelarut, reaksinya disebut *solvolisis*. Substitusi nukleofilik pada karbon alkil dikatakan mengalkilasi nukleofil. Misalnya, reaksi antara R-I dan NMe₃ di atas adalah alkilasi trimetilamina. Demikian pula, substitusi nukleofilik pada karbon asil merupakan asilasi nukleofil (Smith and March, 2007).

b. Substitusi elektrofilik

Seringnya reaksi yang terjadi dalam benzena merupakan reaksi substitusi elektrofilik, hal ini disebabkan karena benzena merupakan molekul yang sangat memiliki banyak elektron.

c. Substitusi radikal bebas

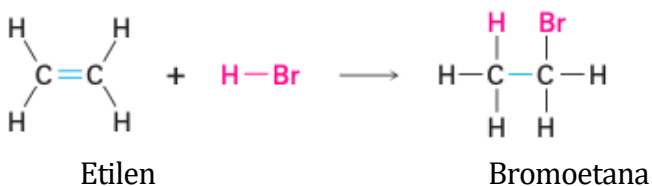
Proses radikal bebas terdiri dari setidaknya dua langkah. Langkah pertama melibatkan pembentukan radikal bebas, biasanya melalui pembelahan ikatan homolitik, yaitu pembelahan di mana setiap fragmen mempertahankan satu elektron:



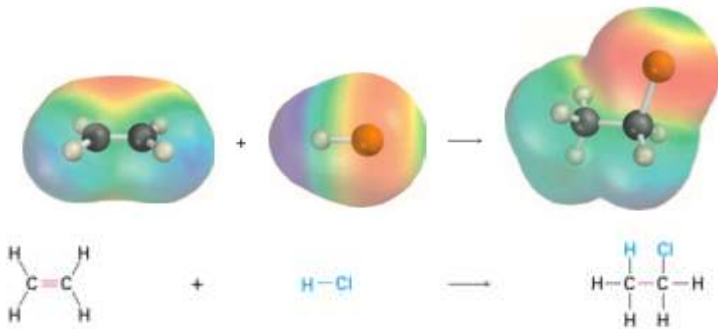
Hal ini mungkin terjadi secara spontan atau mungkin disebabkan oleh panas atau cahaya, tergantung pada jenis ikatannya. Peroksida, termasuk hidrogen peroksida, dialkil diasil, dan alkil asil peroksida, serta asam peroksi merupakan sumber radikal bebas yang paling umum diinduksi secara spontan atau oleh panas, namun senyawa organik lain dengan ikatan energi rendah, misalnya senyawa azo, juga merupakan sumber utama radikal bebas yang dapat digunakan. Molekul yang dipecah oleh cahaya paling sering adalah klor, brom, dan berbagai keton. Radikal juga dapat dibentuk dengan cara lain, melalui transfer satu elektron (kehilangan atau perolehan), seperti contoh, $A^+ + e^- \rightarrow A^\cdot$. Transfer satu elektron biasanya melibatkan ion anorganik atau proses elektrokimia (Smith and March, 2007).

2. Reaksi Adisi

Terjadi ketika dua reaktan bergabung bersama untuk menghasilkan produk masing-masing tanpa ada atom yang tersisa. Contohnya adalah reaksi alkena, seperti etilen, dengan HBr menghasilkan alkil bromida.



Contoh dalam reaksi adisi yaitu, reaksi polar yang umum, reaksi adisi etilen dengan HCl. Ketika etilen diolah dengan hidrogen klorida pada suhu kamar, kloroetana dihasilkan. Reaksi ini merupakan contoh jenis reaksi polar yang umum dikenal sebagai reaksi adisi elektrofilik. Secara keseluruhan, reaksinya dapat dilihat seperti dibawah ini (McMurry, 2011).

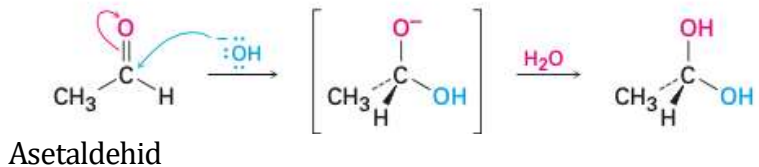


Etilen

Hidrogen Klorida

Kloroetana

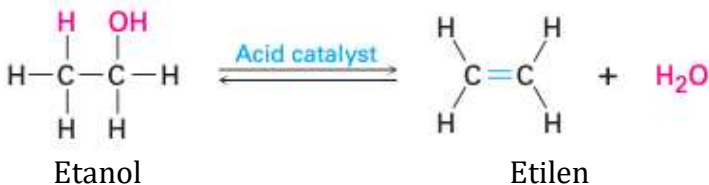
Contoh lain dari adisi nukleofilik ion hidroksida menjadi asetaldehida. Ion hidroksida yang bermuatan negatif adalah nukleofil, yang dapat bergabung dengan atom karbon C=O dan menghasilkan zat antara ion alkoksida. Protonasi kemudian akan menghasilkan hidrat (McMurry, 2011).



Asetaldehid

3. Reaksi Eliminasi

Dalam arti tertentu merupakan kebalikan dari reaksi adisi. Hal ini terjadi ketika satu reaktan terpecah menjadi dua produk, seringkali dengan pembentukan molekul kecil seperti air atau HBr. Contohnya adalah reaksi alkohol yang dikatalisis asam menghasilkan air dan alkena.

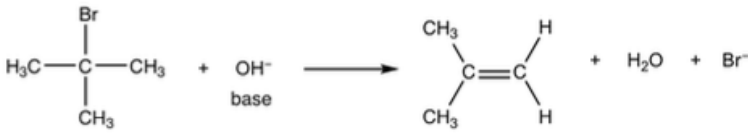


Etanol

Etilen

Mekanisme E2 merupakan mekanisme eliminasi bimolekuler, dimana laju reaksi bergantung pada konsentrasi

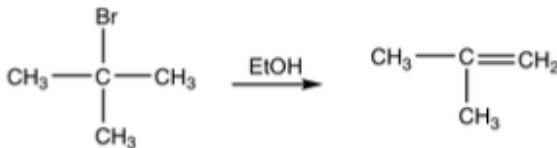
substrat dan basa. Sebagai contoh reaksi eliminasi 2-bromo-2-metilpropana.



2-bromo-2-metilpropana

2-metilpropena

Mirip dengan substitusi, beberapa reaksi eliminasi menunjukkan kinetika orde pertama. Reaksi-reaksi ini melalui mekanisme E1, yaitu mekanisme beberapa langkah yang mencakup zat antara karbokation. Ketika *t*-butil bromida bereaksi dengan etanol, sejumlah kecil produk eliminasi diperoleh melalui mekanisme E1 (Liu, 2008).

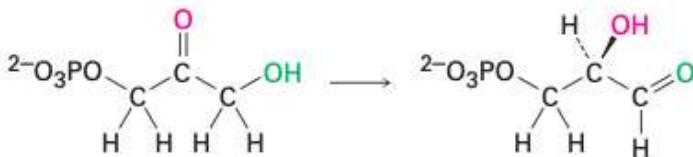


2-bromo-2-metilpropana

2-metilpropena

4. Reaksi Penataan Ulang

Terjadi ketika reaktan tunggal mengalami reorganisasi ikatan dan atom untuk menghasilkan produk isomer. Contohnya adalah konversi dihidroksiaseton fosfat menjadi isomer konstitusional gliseraldehida 3-fosfat, suatu langkah dalam jalur glikolisis dimana karbohidrat dimetabolisme (McMurry, 2016).



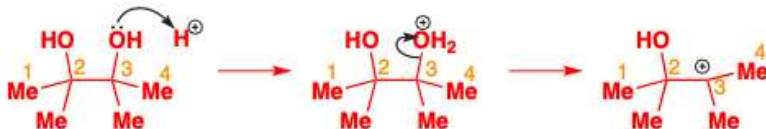
Dihidroksiaseton Fosfat

Gliseraldehida-3-Fosfat

Contoh lain ketika 1,2-diol pinacol direaksikan dengan asam, terjadi reaksi penataan ulang.



Di sini, protonasi salah satu gugus hidroksil memungkinkannya keluar sebagai air, menghasilkan karbokation.



Karbokation disusun ulang melalui pergeseran alkil agar menjadi sestabil mungkin. Pasangan elektron bebas pada atom oksigen akan menstabilkan karbokation. bahwa oksigen sangat baik dalam menstabilkan muatan positif pada atom yang berdekatan, dan agak kurang baik dalam menstabilkan muatan positif pada jarak dua atom. Dengan reaksi penataan ulang, karbokation yang terbentuk pertama membawa muatan positif ke posisi di mana oksigen dapat menstabilkannya, dan hilangnya proton dari oksigen kemudian menghasilkan keton yang stabil.



Kita dapat melihat pinacol sebagai penataan ulang dengan 'dorongan' dan 'tarikan'. Karbokation yang ditinggalkan oleh keluarnya air 'menarik' kelompok yang bermigrasi tersebut pada saat yang sama dengan pasangan oksigen yang 'mendorongnya'. Jenis penataan ulang pinacol membentuk sistem cincin spirosiklik. atom 2 telah bermigrasi dari atom 1 ke atom 6 (Clayden, Greeves and Warren, 2012).

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Zainal. 2012. *Evaluasi Pembelajaran*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Islam Kementrian Agama RI.
- Clayden, J., Greeves, N. and Warren, S. 2012. *Organic Chemistry: Second Edition*. Oxford University Press. Inc.
- Liu, X. 2008. *Organic Chemistry 1*. Kwantlen Polytechnic University Surrey BC.
- McMurry, J. 2011. *Fundamentals of Organic Chemistry Seventh Edition*. Brooks/Cole.
- McMurry, J. 2016. *Organic Chemistry Ninth Edition*. Cengage Learning.
- McMurry, J. 2023. *Organic Chemistry: A Tenth Edition*. Openstax.
- Okuyama, T. and Maskill, H. 2014. *Organic Chemistry a mechanistic approach*. Oxford University Press.
- Smith, M. B. and March, J. 2007. *March's Advanced Organic Chemistry Reactions, Mechanisms, and Struture*. Sixth. Wiley-Interscience. doi: 10.1002/0470084960.

BAB 3

HIDROKARBON

Oleh Elianasari

3.1 Pendahuluan

Hidrokarbon adalah senyawa organik yang molekulnya hanya terdiri dari atom karbon dan hidrogen atau sering juga disebut sebagai senyawa karbon (Fessenden dan Fessenden, 1982).

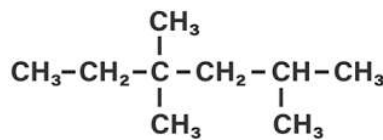
Klasifikasi hidrokarbon berdasarkan susunan atom dalam struktur dibedakan menjadi hidrokarbon alifatik, alisiklik, dan aromatik. Hidrokarbon alifatik merupakan senyawa organik yang tersusun dari karbon dan hidrogen dalam bentuk rantai terbuka. Hidrokarbon alifatik dikelompokkan menjadi alifatik jenuh dan tidak jenuh. Alifatik jenuh adalah hidrokarbon yang dalam struktur molekulnya hanya mempunyai ikatan tunggal. Sedangkan alifatik tidak jenuh apabila di dalam strukturnya terdapat ikatan rangkap. Hidrokarbon alisiklik didefinisikan sebagai senyawa organik yang tersusun dalam suatu cincin atau rantai tertutup. senyawa aromatik merupakan hidrokarbon yang tersusun dalam cincin yang memiliki ketidakjenuhan yang tinggi dan memiliki aroma atau bau yang khas (Wardiyah, 2016).

3.2 Alkana dan Sikloalkana

Senyawa hidrokarbon golongan alkana merupakan hidrokarbon jenuh yang terdiri dari atom karbon dan hidrogen. Alkana dikatakan jenuh karena dalam strukturnya hanya terdiri dari ikatan tunggal antara C dan H. Ikatan tunggal antara C – H pada alkana terbentuk karena overlap ikatan σ pada orbital hibridisasi sp^3 . Metana sebagai molekul alkana yang paling sederhana memiliki bentuk molekul tetrahedra dengan sudut ikatan antara H – C – H adalah $109,5^\circ$ (McMurry, 2007).

Alkana memiliki rumus umum C_nH_{2n+2} atau $C_nH_{2n+1} \cdot H$ atau $R \cdot H$ Jika satu atom H hilang, maka rumus molekulnya menjadi C_nH_{2n+1} atau $R \cdot$, maka gugus baru itu disebut alkil. Pemberian nama untuk

senyawa alkana menggunakan akhiran -ana. Penulisan rumus molekul dari alkana dapat menggunakan rumus termampatkan atau rumus ringkas dengan mengabaikan semua ikatannya. Karbon dengan tiga ikatan C – H dapat digambarkan dengan CH₃ (Neuman, 2013)



Gambar 3.1. Trimetilheksana
Sumber : wikipedia

Tabel 3.1. Nama, Rumus Molekul, Titik didih, dan Titik leleh deret homolog alkana C1 sampai dengan C12

Jumlah Karbon	Nama	Rumus Molekul	Titik didih (°C)	Titik leleh (°C)
C ₁	Metana	CH ₄	-164	-182
C ₂	Etana	CH ₃ -CH ₃	-89	-183
C ₃	Propana	CH ₃ -CH ₂ -CH ₃	-42	-190
C ₄	Butana	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	-1	-138
C ₅	Pentana	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ atau CH ₃ -(CH ₂) ₃ -CH ₃	36	-130
C ₆	Heksana	CH ₃ -(CH ₂) ₄ -CH ₃	69	-95
C ₇	Heptana	CH ₃ -(CH ₂) ₅ -CH ₃	98	-91
C ₈	Oktana	CH ₃ -(CH ₂) ₆ -CH ₃	126	-57
C ₉	Nonana	CH ₃ -(CH ₂) ₇ -CH ₃	151	-51
C ₁₀	Dekana	CH ₃ -(CH ₂) ₈ -CH ₃	174	-30
C ₁₁	Undekana	CH ₃ -(CH ₂) ₉ -CH ₃	196	-26
C ₁₂	Dodekana	CH ₃ -(CH ₂) ₁₀ -CH ₃	216	10

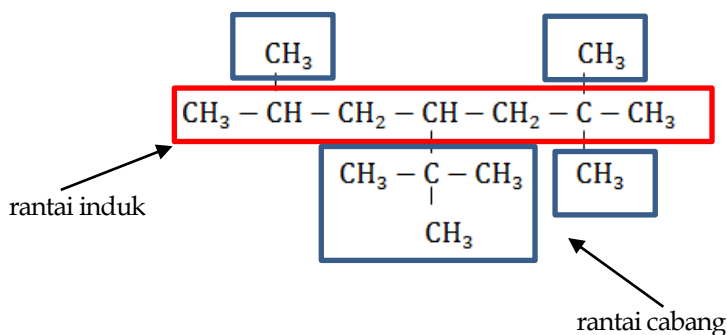
Sumber : Neuman, 1992

3.2.1 Tata Nama Alkana dan Sikloalkana

Alkana diberi nama sesuai dengan penamaan dalam deret homolognya. Pemberian nama berdasarkan tata nama IUPAC.

Aturan untuk penamaan pada senyawa alkana adalah sebagai berikut:

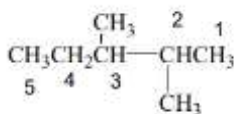
1. Jika berupa alkana rantai lurus tanpa percabangan, alkana diberi nama sesuai dengan jumlah atom C-nya (Lihat Tabel 3.1)
2. Jika alkana mempunyai cabang atau rantai samping, maka penamaannya mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :
 - a. Menentukan **rantai induk/utama**, yaitu rantai terpanjang dalam senyawa tersebut. Rantai diluar rantai induk dianggap sebagai rantai cabang atau substituen.



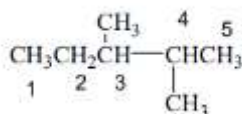
Gambar 3.2. 2,2,6-trimetil-4-isobutil heptana
Sumber : wikipedia

- b. Rantai induk diberi nomor sehingga gugus cabang akan mendapat nomor terkecil. Jika ada lebih dari satu rantai cabang maka urutan dimulai pada satu ujung yang substituen keduanya lebih dekat dengan substituent pertama.
- c. Penamaan pada rantai cabang yang terikat pada induknya diberi sesuai nomor urutnya dan jika terdapat lebih dari satu gugus cabang yang sama maka gugus cabang harus diberi awalan di-untuk dua gugus cabang yang sama, tri-untuk tiga gugus cabang yang sama, tetra-untuk empat gugus cabang yang sama, dan seterusnya. Jika terdapat lebih dari satu jenis gugus cabang maka nama diberikan sesuai urutan alfabet (dalam bahasa inggris).

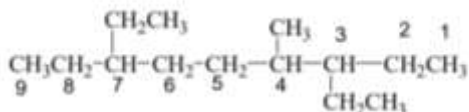
- d. Tuliskan nama senyawa organik secara lengkap sebagai kata tunggal.



bukan



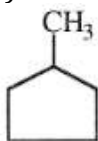
Nama yang benar adalah : 2,3-dimetilpentana



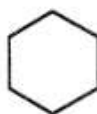
3,7-dietil-4-metilnonana

(Wardiyah, 2016).

Penamaan sikloalkana tanpa adanya substituen atau rantai cabang dengan menambahkan *siklo* diawal penamaan alkana sesuai dengan jumlah atom karbon (Tabel 3.1). Sedangkan pada sikloalkana yang mempunyai substituen atau rantai samping maka penamaannya diawali dengan nama substituen diikuti dengan nama rantai induknya. Rantai cabang pada sikloalkana memiliki jumlah karbon yang lebih sedikit daripada rantai induk, sehingga sikloalkana tersebut merupakan senyawa sikloalkana tersubstitusi alkil (Neuman, 2013)



(a)



(b)

Gambar 3.3. (a) 1-metilsiklopentana (b) sikloheksana

Sumber : Wardiyah, 2016

3.2.2 Sifat Fisik Alkana dan Sikloalkana

Berdasarkan data titik didih pada tabel 3.1 dapat dilihat metana, etana, propana dan butana berwujud gas pada suhu ruang. Senyawa alkana yang lain menunjukkan bentuk cairan karena titik didih senyawa tersebut berada diatas temperatur ruang meskipun titik lelehnya dibawah temperatur ruang, dan alkana rantai lurus

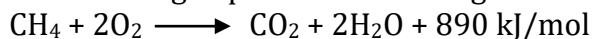
dengan 18 atom C atau lebih adalah zat padat. Titik didih senyawa dalam deret homolog akan bertambah sekitar 30°C untuk tiap gugus metilena (CH₂) tambahan, jadi setiap kenaikan bobot molekul dari senyawa alkana maka titik didihnya akan semakin tinggi. Titik didih suatu senyawa tergantung dari energi yang diperlukan oleh molekul-molekul untuk berubah dari fase cair menjadi fase gas. Pada alkana kenaikan titik didih dipengaruhi oleh gaya tarik van der Waals, semakin panjang rantai karbon dalam molekul maka makin besar gaya tarik van der Waals. Sebagai contoh butana mempunyai titik didih 0°C, sedangkan pentana memiliki titik didih 36°C. Perubahan titik didih juga dipengaruhi oleh percabangan dalam alkana. Adanya percabangan dalam alkana akan terganggunya gaya tarik van der Waals sehingga akan menurunkan titik didih (Morrison dan Boyd, 1992)

3.2.3 Reaksi-reaksi pada Alkana

Alkana merupakan senyawa nonpolar dan hanya memiliki ikatan-ikatan sigma (σ) yang kuat, stabil dan tidak mudah putus. Sifat senyawanya yang *inert* (sukar bereaksi) mengakibatkan senyawa alkana tidak reaktif terhadap sebagian besar pereaksi.

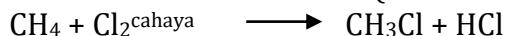
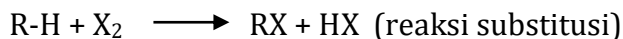
1. Oksidasi

Alkana bereaksi dengan oksigen dalam jumlah yang memadai (teroksidasi sempurna) akan membentuk CO₂ dan H₂O yang disertai dengan pembebasan energi.



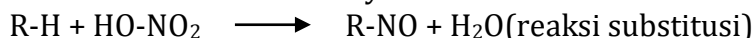
2. Halogenasi

Reaksi alkana dengan unsur-unsur halogen di bawah pengaruh panas atau sinar ultraviolet mengakibatkan terjadinya substitusi atom H pada alkana oleh gugus klorida (-Cl). Pada reaksi ini produk yang dihasilkan berupa alkil halida.

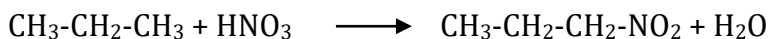


3. Nitration

Alkana bereaksi dengan HNO₃ pada suhu 150^o-475^oC. Persamaan reaksi umumnya adalah:

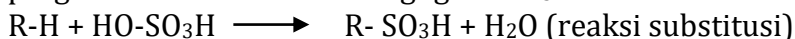


Contoh :

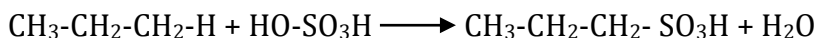


4. Sulfonasi

Alkana dapat bereaksi dengan asam sulfat menghasilkan asam alkanasulfonat. Sulfonasi merupakan reaksi antara suatu senyawa dengan asam sulfat, dalam reaksi terjadi pergantian satu atom H oleh gugus $\text{-SO}_3\text{H}$.



Contoh :



5. Pirolisis

Alkana mengalami dekomposisi termal, dimana suatu molekul besar akan pecah menjadi molekul-molekul kecil karena pemanasan tanpa melibatkan oksigen. Peristiwa pirolisis ini disebut juga sebagai *cracking*.

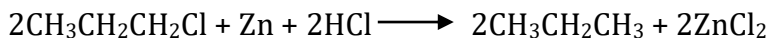
(Wardaiyah, 2016)

3.2.4 Reaksi-reaksi pada Alkana

Alkana dapat dibuat dalam skala laboratorium melalui berbagai cara reaksi, diantaranya adalah:

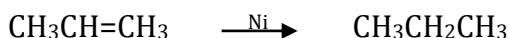
1. Reduksi alkil halida

Alkana dapat diperoleh dari reduksi alkil halida dengan menggunakan reduktor logam, misalnya logam Zn dan dengan adanya garam atau asam yang dapat menghasilkan hidrogen misalnya HCl. Reaksi juga dapat terjadi dengan reduktor logam Na dan alkohol



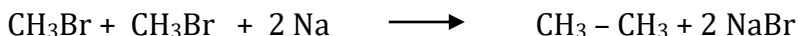
2. Hidrogenasi alkana

Merupakan reaksi hidrogenasi suatu alkana dengan H_2 , reaksi ini menggunakan katalis Nikel (Ni) atau Platinum (Pt)



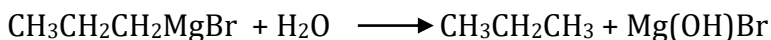
3. Reaksi wurtz

Merupakan reaksi pembuatan alkana dengan memanaskan alkilhalida dengan logam Na.



4. Reaksi Grignard

Reaksi dimulai dengan pembentukan suatu reagensia grignard dari alkilhalida yang direaksikan dengan Mg dalam pelarut eter. Hasil reaksinya berupa RMgX (reagensia Grignard). Reagensia grignard yang terbentuk direaksikan dengan senyawa yang mengandung gugus H aktif seperti air, alkohol atau asam, sehingga akan terbentuk senyawa alkohol.



(Ikhsan J. dan D. Ernawari, 2016.)

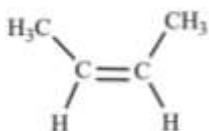
3.3 Alkena dan Alkuna

Alkena adalah senyawa hidrokarbon yang mempunyai ikatan rangkap dua karbon-karbon. Ikatan rangkap ini terbentuk karena overlap ikatan σ dan ikatan π pada orbital hibridisasi sp^2 . Karbon terhibridisasi sp^2 pada alkena akan membentuk sudut ikatan kira-kira 120° . Rumus umum alkena adalah C_nH_{2n} . Ikatan rangkap pada alkena menyebabkan alkena bersifat tidak jenuh karena jumlah hidrogen pada alkena lebih sedikit dibandingkan alkana dengan jumlah karbon yang sama. Sedangkan pada senyawa hidrokarbon golongan alkuna yang merupakan hidrokarbon alifatik tak jenuh yaitu hidrokarbon dengan satu ikatan rangkap tiga ($\text{C}\equiv\text{C}$). Rumus umum alkuna adalah $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$; n = jumlah atom C (Riawan S., 1990)

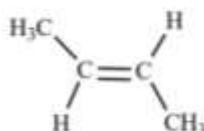
3.3.1 Isomer Cis-Trans pada Alkena

Isomer cis-trans adalah isomer yang memiliki rumus molekul dan tatanan atom-atom yang sama tetapi berbeda dalam penempatan gugus-gugus di sekitar ikatan rangkap dua. Jika setiap atom karbon yang dihubungkan oleh ikatan rangkap dua mengikat dua atom atau gugus atom yang berlainan, maka akan terjadi isomer cis-trans. Awalan cis digunakan untuk menyatakan jika kedudukan gugus prioritas tinggi terletak pada satu sisi bidang. Awalan trans digunakan untuk menyatakan jika kedudukan prioritas tinggi terletak di sisi yang bersebrangan arah (berlawanan). Gugus prioritas ditentukan berdasarkan berat molekul. Semakin berat molekul tersebut, maka gugus prioritas semakin tinggi.

Pada senyawa 2-butena, masing-masing karbon ikatan rangkapnya akan mengikat hidrogen dan gugus metil. Isomer cis-2-butena terjadi apabila kedua substituen metil berada pada sisi yang sama. Sedangkan trans-2-butena terjadi apabila kedua substituen metil berada pada sisi yang berlawanan. Senyawa cis 2-butena dan trans 2-butena merupakan dua senyawa dengan sifat fisik dan kimia yang berbeda (Fessenden dan Fessenden, 1982).



Cis-2-butena

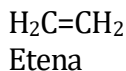


Trans-2-butena

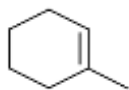
3.3.2 Tata Nama Alkena dan Alkuna

Alkena diberinama seperti alkana, tetapi dengan mengubah akhiran -ana pada alkana menjadi -ena, sedangkan pada alkuna diubah menjadi -una. Posisi ikatan rangkap dan cabang ditunjukkan dengan nomor yang diatur sedemikian sehingga mempunyai nilai terendah. Awalan siklo ditambahkan pada alkena berantai tertutup (siklis). Bila terdapat lebih dari satu ikatan rangkap, maka digunakan akhiran -diena, -triena, -tetraena. Ikatan rangkap dinyatakan dengan memberi nomor awalan untuk menunjukkan posisi ikatan rangkap. Jika pada rantai alkena terdapatb gugus fungsional yang memiliki prioritas tatanama yang lebih tinggi, maka

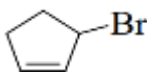
penomoran dimulai dari karbon yang paling dekat dengan gugus fungsi tersebut. Nomor awalan menunjukkan atom karbon darimana ikatan rangkap itu mulai.



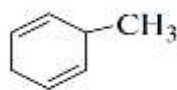
Penamaan untuk sikloalkena hampir sama seperti pada alkana, tetapi sikloalkena tidak memiliki ujung sehingga ikatan rangkap pada sikloalkena akan menempati posisi pada C₁ dan C₂. Bila alkana yang menjadi substituen dikenal dengan nama alkil karena kehilangan satu atom hidrogen, alkana yang menjadi substituen dikenal sebagai alkenil.



(a)



(b)

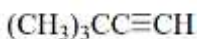


(c)

Gambar 3.4. (a) 1-metilsikloheksanon (b) 3-bromosikloheksena (c) 3-metil-1,4-dimetilsikloheksadiena

Sumber : wikipedia

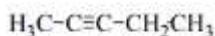
Aturan IUPAC dalam penamaan alkuna hampir seluruhnya sama dengan alkana. Dalam penamaan alkuna, nama rantai utama yang diturunkan dari alkana dengan jumlah C sama yang memiliki akhiran *ena* asetilena diubah menjadi *una*. Ikatan rangkap tiga mendapatkan nomor posisi pada rantai induknya. Bila ada gugus fungsional yang lebih tinggi prioritasnya maka penomoran dimulai dari ujung yang paling dekat dengan gugus fungsi tersebut. Dalam tatanama trivial alkuna yang paling sederhana adalah asetilena sehingga gugus yang terikat pada ikatan rangkap dianggap sebagai substituen.



3,3-dimetil-1-butuna



1,6-heptadiuna



IUPAC : 2-pentuna

trivial : etilmetilasetilen

(Fessenden dan Fessenden, 1982)

3.3.3 Sifat Fisik Alkena dan Alkuna

Sifat fisik alkena identik dengan alkana padanannya. Alkena suku rendah akan berwujud gas, suku tengah berwujud cair, sedangkan suku tinggi yang mengandung lebih dari 18 atom karbon berwujud padatan. Seperti halnya alkana, setiap penambahan gugus metilena titik didihnya akan naik sekitar 30^o. Keberadaan rantai cabang pada alkena akan menurunkan titik didih sama seperti halnya pada alkana. Alkana, alkena, dan alkuna merupakan senyawa nonpolar, tetapi alkena dan alkuna sedikit lebih larut dalam air dibandingkan alkana padanannya (Wardiyah, 2016)

Alkuna tidak mudah larut dalam air, karena dia adalah senyawa nonpolar. Pada suhu kamar, alkuna dengan C₂-C₄ berwujud gas, alkuna dengan C₅-C₁₅ berwujud cair dan alkuna dengan C₁₆ dan seterusnya berwujud padat. Alkuna rantai lurus, semakin panjang rantai C nya, maka akan semakin tinggi titik didihnya. Adanya percabangan dalam alkena atau alkuna akan menurunkan titik didih sama seperti halnya pada alkana. Alkana, alkena, dan alkuna merupakan senyawa nonpolar, tetapi alkena dan alkuna sedikit lebih larut dalam air dibandingkan alkana padanannya. Misalnya adalah etana memiliki titik didih -88,6 derajat, sedangkan etena - 103,7 derajat dan etuna memiliki titik didih yang lebih tinggi yaitu - 84,0 derajat (Ikhsan J. dan D. Ernawari, 2016).

3.3.4 Reaksi-Reaksi Alkena dan Alkuna

Alkena dan Alkuna memiliki sifat fisik yang identik dengan alkana, tetapi sifat kimianya berbeda. Hal ini dikarena adanya ikatan rangkap menyebabkan alkena dan alkuna lebih reaktif dibandingkan alkana.

1. Reaksi Adisi

Alkena dan alkuna dapat mengalami reaksi adisi. Pada reaksi adisi akan terjadi penambahan atom pada ikatan rangkap.

Tabel 3.2. Contoh reaksi adisi pada alkena dan alkuna

Reaksi adisi	Nama reaksi
$CH\equiv C - CH_3 + 2H_2 \xrightarrow{Pt} CH_3CH_2CH_3$	Hidrogenasi
$H_3C - HC=CH - CH_3 + Br_2 \longrightarrow$	Adisi

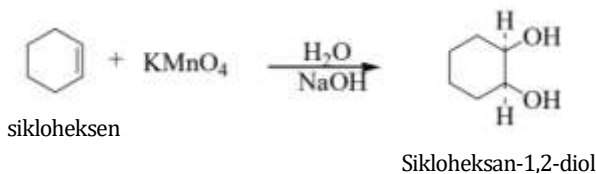
Reaksi adisi	Nama reaksi
$\text{CH}_3 - \text{CHBr} - \text{CHBr} - \text{CH}_3$	halogen
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{HBr} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$	Adisi oleh hidrogen halida
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{B}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{BH}_2 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2 \end{array} \\ \downarrow \text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 \\ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{B}-\text{CH}_2\text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2 \end{array} \longleftarrow \begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 \\ \text{BH}-\text{CH}_2\text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2 \end{array} \end{array}$	Adisi borana

Sumber : Ikhsan J. dan D. Ernawari, 2016.

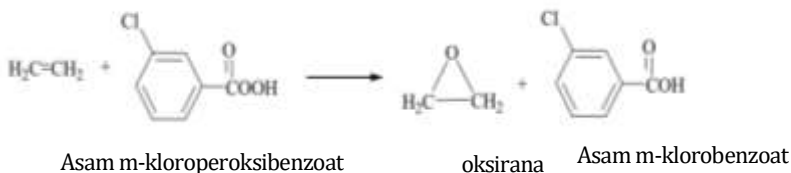
2. Oksidasi

Alkena dapat mengalami reaksi oksidasi yang akan membentuk senyawa glikol (diol), epoksida, pemaksapisahan (*cleavage*), dan oksidasi sempurna membentuk CO_2 dan H_2O .

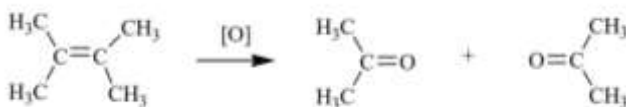
a. Oksidasi oleh KMnO_4 (hidroksilasi)



b. Pembentukan epoksida



c. Pemaksapisahan (cleavage)



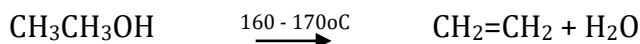
(Wardiyah, 2016)

3.3.5 Pembuatan Alkena dan Alkuna

1. Dehidrasi Alkohol

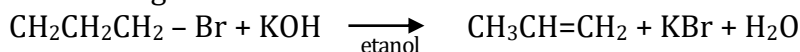
Alkena dapat diperoleh dengan cara pelepasan atau penghilangan air dari senyawa alkohol primer, sekunder, maupun tersier. Dehidrasi alkohol dilakukan dengan cara mereaksikan asam sulfat atau asam kuat lainnya dengan alkohol pada suhu 160 - 170°C

Contoh :



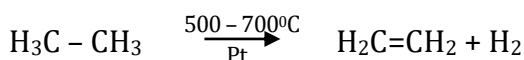
2. Dehidrogenasi Alkil Halida

Reaksi ini merupakan reaksi eliminasi terhadap alkil halida (pelepasan asam halogen) dengan cara memanaskan alkil halida dengan KOH dalam etanol.



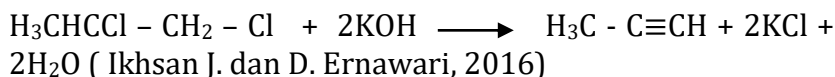
3. Cracking (pemecahan)

Adalah pemecahan molekul besar menjadi molekul kecil dengan pengaruh tekanan dan temperature tinggi.



4. Pembuatan alkuna

Alkuna dapat dibuat dengan menggunakan reaksi eliminasi tetapi dibutuhkan kondisi yang lebih kuat sehingga kadang dijumpai perpindahan ikatan rangkap tiga dari satu posisi rantai ke posisi lain. Alkuna juga dapat dibuat dengan reaksi dehidrohalogenasi alkil dihalida :



3.4 Sumber dan Kegunaan Hidrokarbon

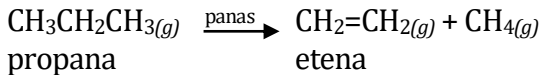
3.4.1 Kegunaan Alkana

Senyawa alkana yang ada di alam terdiri dari gas alam, minyak bumi, dan batu bara.

1. Komposisi gas alam sebagian besar terdiri dari metana sebesar 60 – 90%. Metana merupakan gas alam yang terbentuk dari penguraian selulosa oleh bakteri, karena seringnya terbentuk di dasar rawa kemudian gas-gas ini timbul ke permukaan sehingga sering disebut sebagai gas rawa. Contoh gas alam lainnya adalah etana dan propana.
2. Minyak bumi terbentuk akibat proses sedimentasi dari sisa tumbuhan dan hewan yang lambat laun akan berubah menjadi hidrokarbon. Minyak bumi yang diperoleh dari alam ini masih merupakan minyak mentah yang belum dapat dimanfaatkan dan harus melalui proses refining atau pemurnian. Contoh hasil pengolahan minyak bumi adalah bensin, minyak tanah, avtur, dan sebagainya.
3. Batubara terbentuk dari hasil peluruhan tumbuhan oleh bakteri dalam berbagai tekanan. Komposisi batubara dibedakan berdasarkan kadar senyawa karbon penyusunnya. Batubara keras atau antrasit mengandung kadar karbon terbesar, kemudian batubara bitumen atau batubara lunak, lignit dan terakhir adalah gambut. Pemanasan batubara tanpa oksigen akan menghasilkan gas batubara dengan komponen utama CH_4 dan H_2 , ter batubara, dan kokas (residu) batubara. Bagian yang digunakan sebagai bahan bakar adalah gas batubara dan kokas. Sedangkan ter batubara merupakan komponen batubara yang kaya akan kandungan senyawa aromatik (Wardiyah, 2016)

3.4.2 Pembuatan Alkena dan Alkuna

Alkena berada dalam jumlah yang kecil di alam sehingga harus disintesis melalui perekaan alkana dari gas alam dan minyak bumi. Sebagai contoh perekaan gas etana dan propana menghasilkan etena.



1. $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ (Etena)

Gas yang tidak berwarna dan hampir tidak berbau, terbakar dengan nyala yang terang sehingga digunakan dalam gas lampu, etena juga digunakan untuk memeras buah-buahan, serta sebagai obat anestetik tetapi untuk penggunaan ini sangat berbahaya karena mudah meledak dengan udara.

2. $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ (Butadiena)

Butadiena merupakan salah satu alkadiena yang melalui reaksi polimerisasi akan membentuk polibutadiena (karet sintesis). Polibutadiena murni bersifat lengket dan lemah sehingga digunakan sebagai komponen adesif dan segmen.

- ### 3. Polivinil klorida (PVC)

Polivinil klorida murni (dan beberapa plastik lainnya) sangat rapuh dan tidak fleksibel. Untuk membuatnya lebih fleksibel, ditambahkan sedikit *plasticizer* kedalam polimer yang panjang. *Plasticizer* yang paling umum digunakan untuk PVC adalah “diethyl hexyl phthalate” atau biasa disebut sebagai DEHP. Polivinil klorida mempunyai logo daur ulang 3 di dalam simbol dan singkatan PVC

Alkuna berada dalam jumlah yang kecil dalam gas alam, minyak bumi, beberapa tanaman dan hewan. Sebagai contoh, senyawa ichthyothereol pada bunga *Ichthyothere terminalis*. Jumlah alkuna yang sedikit di alam, menyebabkan industri harus mensintesis senyawa alkuna dengan cara pembakaran tidak sempurna dari metana, perekaan alkana dari minyak bumi, atau dalam skala kecil asetilena dapat diperoleh dengan cara mereaksikan batu karbid dan air. Kegunaan senyawa alkuna dalam kehidupan sehari-hari adalah pengelasan. Ketika asetilena dalam jumlah besar dibakar dengan oksigen dapat menghasilkan suhu yang sangat tinggi 2800°C (3075K). Tingginya suhu tersebut mampu digunakan untuk melelehkan logam dan menyatukan pecahan-pecahan logam (Ikhsan J. dan D. Ernawari, 2016)

DAFTAR PUSTAKA

- Fessenden, R.J., Fessenden, J.S, Alih Bahasa Pudjaatmaka, A.H. 1982. Kimia Organik Jilid 1. edisi ke-3 Jakarta : Erlangga
- Ikhsan, J., D. Ernawati. 2016. Augement Chemistry Hidrokarbon. Yogyakarta: LPPM UNY
- McMurry, J. 2007. Organic Chemistry, 7th edition. California : Wadsworth Inc.
- Morrison, R.T, Boyd, R.N. 1992. Organic Chemistry. 7th edition, New Jersey : Prentice Hall Inc.
- Neuman, R.C. 1992. Organic Chemistry. California : Uneversity of California
- Riawan, S. 1990. Kimia Organik. Jakarta : Binarupa Aksara
- Wardiyah. 2016. Kimia Organik. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia

BAB 4

ISOMERISME

Oleh Aliyah Fahmi

4.1 Pendahuluan

Dalam kimia, isomer adalah molekul atau ion poliatomik dengan rumus molekul identik yaitu jumlah atom yang sama dari setiap unsur, namun memiliki susunan atom dalam ruang berbeda. Isomerisme mengacu pada keberadaan atau kemungkinan isomer. Isomer belum tentu memiliki sifat kimia atau fisik yang sama. Dua bentuk utama isomerisme adalah isomerisme struktural atau konstitusional, di mana ikatan antar atom berbeda; dan stereoisomerisme atau isomerisme spasial, di mana ikatannya sama tetapi posisi relatif atomnya berbeda.

Hubungan isomer membentuk hierarki. Dua bahan kimia mungkin merupakan isomer konstitusional yang sama, tetapi jika dianalisis lebih dalam, keduanya merupakan stereoisomer satu sama lain. Dua molekul yang merupakan stereoisomer yang sama satu sama lain mungkin memiliki bentuk konformasi yang berbeda atau isotopolog yang berbeda. Kedalaman analisis tergantung pada bidang studi atau sifat kimia dan fisik yang diminati (Ralph, H., Murphy, E., & Gleichner, M., 1997).

Kata bahasa Inggris "isomer" (/ˈaɪsəməːr/) adalah bentukan belakang dari "isomer" yang dipinjam melalui *isomerisch* Jerman[3] dari *isomerisk* Swedia; yang pada gilirannya diciptakan dari bahasa Yunani *ἰσόμερος* *isómeros*, dengan akar kata *isos* = "sama", *méros* = "bagian" (Webster, M., 2011).

Singkatnya, isomerisme adalah gagasan kimia yang mencakup molekul atau ion poliatomik dengan rumus molekul yang sama tetapi susunan atom yang berbeda di ruang angkasa. Ini mencakup stereoisomerisme dan struktural, yang masing-masing berkaitan dengan perubahan dalam pengaturan ikatan dan posisi relatif atom. Selain memainkan peran penting dalam memahami

berbagai sifat dan perilaku senyawa kimia, isomerisme menunjukkan keserbagunaan dan kompleksitas senyawa kimia.

4.2 Pembagian Isomer

Isomer dikategorikan menjadi dua bentuk utama:

1. Isomerisme struktural atau konstitusional
2. Stereoisomerisme atau isomerisme spasial

Isomer struktural memiliki susunan ikatan antar atom yang berbeda, sedangkan stereoisomer memiliki ikatan yang sama tetapi berbeda dalam posisi relatif atom. Dalam kimia, isomerisme cis-trans, isomerisme geometrik, dan isomerisme konfigurasi adalah jenis stereoisomerisme yang menjelaskan orientasi gugus fungsi dalam molekul. Isomer seperti ini biasanya memiliki ikatan rangkap yang tidak dapat berputar. Selain itu, struktur cincin molekul mereka yang sangat terbatas mencegah ikatan untuk berputar.

Isomerisme cis-trans adalah istilah lama yang mengacu pada stereoisomerisme umum (seperti isomerisme optis), dan "diastereomerisme" adalah istilah yang tepat untuk stereoisomerisme non-optis. Diastereomer dengan gugus substituen yang bergerak ke arah yang sama disebut cis dan diastereomer dengan gugus substituen yang bergerak ke arah yang berlawanan disebut trans.

1. **Isomerisme Struktural/ konstitusional:** Isomerisme structural mengacu pada isomer yang memiliki susunan atom dan ikatan yang berbeda. Jenis isomerisme ini dapat diklasifikasikan lebih lanjut ke dalam subtype berikut:
 - a. **Isomerisme Rantai:** Dalam isomer rantai, kerangka karbon molekul berbeda di antara isomer. Ini dapat melibatkan variasi panjang atau pola percabangan rantai karbon.
 - b. **Isomerisme Posisi:** Isomerisme posisi terjadi ketika gugus fungsi atau substituen melekat pada posisi berbeda pada kerangka karbon. Konektivitas atom tetap sama, tetapi penempatannya di dalam molekul berubah.
 - c. **Isomerisme Gugus Fungsional:** Isomerisme gugus fungsi melibatkan isomer dengan gugus fungsi yang berbeda.

Rumus molekulnya tetap sama, tetapi jenis gugus fungsi yang ada bervariasi di antara isomer.

- d. **Isomerisme Tautomerik:** Isomerisme tautomerik terjadi ketika isomer saling bertukar dengan cepat karena migrasi atom hidrogen dan ikatan rangkap dalam molekul. Ini menghasilkan struktur resonansi yang berbeda dan kemampuan untuk eksis dalam bentuk yang berbeda.

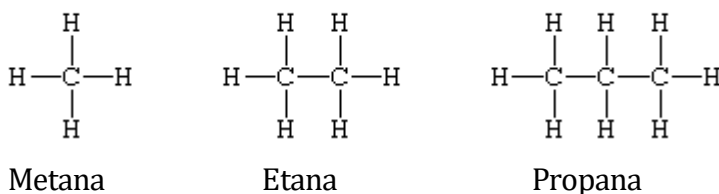
2. Stereoisomerisme/spasial: Stereoisomerisme mengacu pada isomer yang memiliki konektivitas atom yang sama tetapi berbeda dalam pengaturan ruangnya. Jenis isomerisme ini dapat dikategorikan lebih lanjut ke dalam sub tipe berikut:

- a. **Isomerisme Geometris:** Isomerisme geometris muncul ketika molekul memiliki rotasi terbatas di sekitar ikatan dan ada dalam konfigurasi geometris yang berbeda. Bentuk isomer geometri yang paling umum adalah isomer cis-trans, di mana substituen diposisikan berbeda di sekitar ikatan rangkap atau cincin.
- b. **Isomerisme Optik:** Isomer optik, juga dikenal sebagai enantiomerisme, terjadi ketika isomer adalah bayangan cermin yang tidak dapat ditumpangkan satu sama lain. Isomer ini disebut sebagai enansiomer dan menunjukkan aktivitas optik yang berbeda.
- c. **Isomerisme Konformasi:** Isomerisme konformasi muncul karena rotasi ikatan tunggal, menghasilkan pengaturan spasial molekul yang berbeda. Konformasi yang berbeda seringkali dapat dipertukarkan tanpa memutus ikatan apa pun.

4.2.1 Isomer Struktural/Konstitusional

Isomer yang berbeda dalam konektivitas disebut isomer konstitusional (terkadang struktural). Mereka mempunyai bagian-bagian yang sama, tetapi bagian-bagian tersebut melekat satu sama lain secara berbeda. Gelang manik-manik merah dan hijau yang disebutkan di atas dianalogikan dengan isomer konstitusional. Hidrokarbon paling sederhana dari metana (CH_4), etana (CH_3CH_3),

dan propana ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$) tidak memiliki hidrogen dari molekul-molekul ini sesuai dengan tetravalensi karbon dan univalensi karbon. hidrogen.



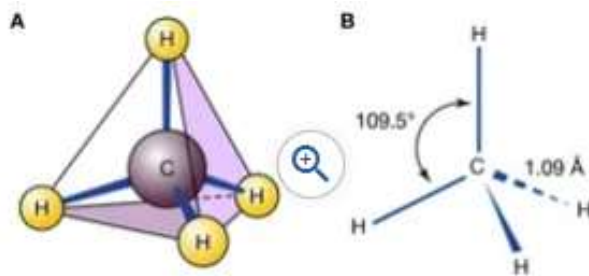
Gambar 4.1. Struktur kimia dari metana, etana dan propane
(sumber: Jones, M., 2023)

Namun, ada dua butana yang berbeda, C_4H_{10} , dan kedua molekul ini, yang disebut butana dan isobutana, merupakan isomer konstitusional. Mereka adalah molekul berbeda dengan sifat kimia dan fisik berbeda. Butana memiliki empat atom karbon yang terikat dalam rantai kontinu. Isobutane memiliki struktur bercabang. Jumlah kemungkinan isomer konstitusional meningkat pesat seiring dengan jumlah atom yang tersedia. Hanya ada dua butana, tetapi ada tiga pentana (C_5H_{12}), 18 oktan (C_8H_{18}), dan tidak kurang dari 366.319 isomer konstitusional hidrokarbon yang mengandung 20 atom karbon dan 42 hidrogen.

4.2.2 Stereoisomerisme/Spasial

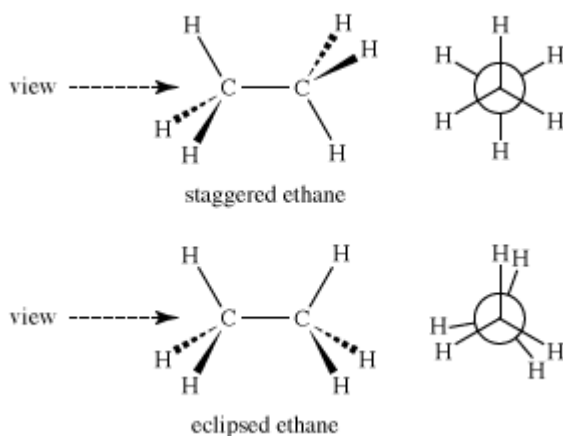
Didefinisikan secara umum, stereoisomer merupakan isomer yang memiliki komposisi yang sama (yaitu bagian yang sama) tetapi orientasi bagian tersebut dalam ruang berbeda. Ada dua jenis stereoisomer: enantiomer dan diastereomer. Enansiomer adalah bayangan cermin, seperti tangan seseorang, dan diastereomer adalah bayangan cermin lainnya. Namun, seperti disebutkan di atas, skala waktu dan energi sangatlah penting. Untuk memahami pertimbangan ini, pertama-tama ada gunanya mempertimbangkan jenis stereoisomer khusus, yaitu isomer konformasi.

Metana (CH_4) adalah molekul yang merupakan tetrahedron sempurna, sehingga secara umum dikatakan bahwa tidak ada isomerisme yang mungkin terjadi pada metana. Namun, ikatan karbon-hidrogen metana terus-menerus bergetar dan membengkok, sehingga dalam jangka waktu yang sangat singkat dapat dikatakan ada isomerisme yang nyata. Namun struktur ini bukanlah energi minimum, sehingga tidak memenuhi syarat sebagai isomer.



Gambar 4.2. Struktur kimia metana (sumber: Jones, M., 2023)

Ketika kompleksitas meningkat, isomerisme yang disebabkan oleh rotasi ikatan menjadi faktor yang lebih besar. Dalam etana (CH_3CH_3). Sebagai contoh kedua karbon kira-kira berbentuk tetrahedral. Jadi, ada dua struktur pembatas antara etana *staggered*, yang ikatan karbon-hidrogennya berjarak sejauh mungkin, dan etana *eclipsed*, yang ikatannya sedekat mungkin. Kedua struktur ini tentu saja tidak sama. Mungkin pandangan terbaik untuk melihat perbedaannya adalah “proyeksi Newman” (yang diambil dari nama ahli kimia Amerika *Melvin Newman*) yang melihat ikatan karbon-karbon dan berfokus pada posisi enam hidrogen. Dalam proyeksi Newman, karbon depan terletak pada perpotongan ikatan ketiga atom hidrogen yang terikat, dan karbon belakang berbentuk lingkaran meledak, dengan ikatan terikat memancar dari keliling lingkaran.

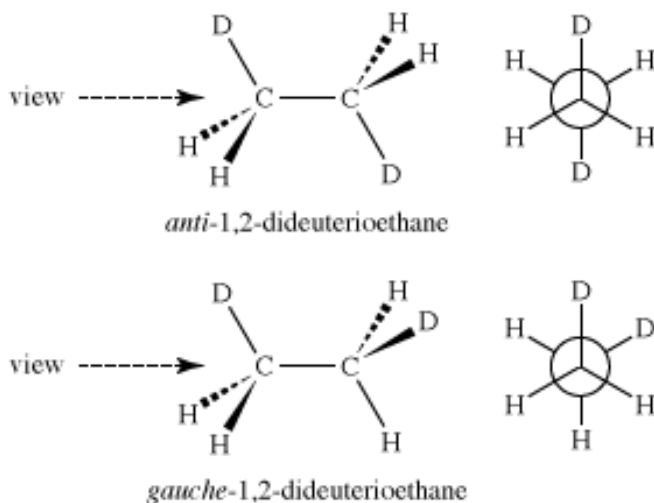


Gambar 4.3. Isomerisme etana (sumber: Jones, M., 2023)

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa etana dengan bentuk *staggered*/terhuyung mempunyai energi yang lebih rendah karena dalam bentuk *eclipsed*/gerhana, elektron-elektron dalam ikatan karbon-hidrogen di sisi berlawanan dari ikatan karbon-karbon saling tolak menolak. Ketegangan yang ditimbulkan oleh tolakan ini meningkatkan energi potensial dari bentuk gerhana. Perbedaan energinya tidak besar, sekitar 3 kilokalori per mol (kkal/mol).

Apabila seseorang memplot perubahan energi ketika etana berputar mengelilingi ikatan karbon-karbon, kesulitan lain akan terungkap. Seperti “isomer” vibrasi dan rotasi metana yang disebutkan di atas, etana *eclipsed*/gerhana (E) bahkan bukan merupakan energi minimum; ini adalah energi maksimum, keadaan transisi antara dua etana *staggered*/terhuyung (S) yang terhuyung-huyung. Oleh karena itu, etana, seperti halnya metana, sebenarnya hanya memiliki satu bentuk.

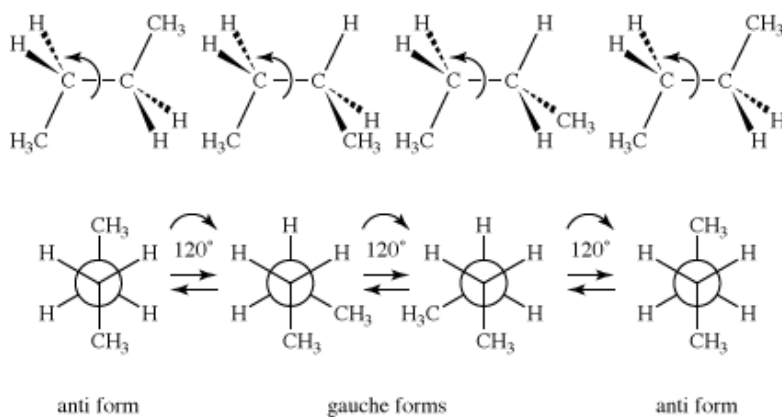
Pada saat substitusi dilakukan pada molekul etana, misalnya, pertukaran sebagian atom hidrogen dengan atom deuterium untuk menghasilkan 1,2-dideuterioetana bentuk isomer terhuyung menjadi mungkin. Bentuk-bentuk yang terhuyung-huyung ini, yang disebut “anti” dan “gauche,” dari 1,2-dideuterioetana berbeda tetapi saling berkonversi melalui rotasi di sekitar ikatan karbon-karbon pusat dan disebut “isomer konformasi.”



Gambar 4.4. Anti 1,2 dideuterioetana dan gauche 1,2 dideuterioetana (sumber: Jones, M., 2023)

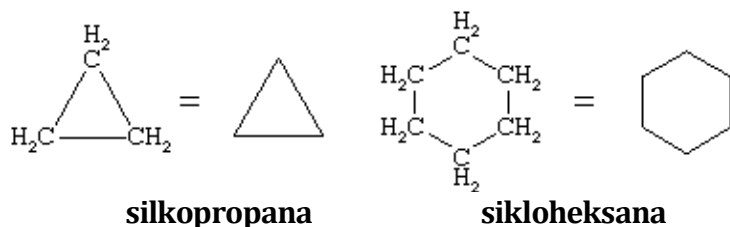
Dalam kasus 1,2-dideuterioetana, penghalang energi yang memisahkan isomer konformasi hanya 3 kkal/mol, terlalu rendah untuk membuatnya dapat dipisahkan dalam kondisi normal.

Butana memiliki dua isomer konstitusional, butana dan isobutana. Isobutana tidak memiliki isomer konformasi, tetapi butana sangat mirip dengan 1,2-dideuterioetana, karena sepasang isomer konformasi anti dan gauche dimungkinkan untuk molekul tersebut. Karena gugus metil (CH_3) jauh lebih besar daripada hidrogen atau deuterium, grafik energi versus sudut rotasi lebih rumit untuk butana dibandingkan dengan etana atau 1,2-dideuterioetana.



Gambar 4.5. Bentuk anti dan gauche pada isomerisme konformasi (sumber: Jones, M., 2023)

Senyawa cincin sering kali memiliki kumpulan isomer konformasi yang sangat kaya. Sejauh ini senyawa cincin yang paling menarik adalah sikloheksana (C_6H_{12}), yang ditunjukkan di sini dengan siklopropana (C_3H_6).

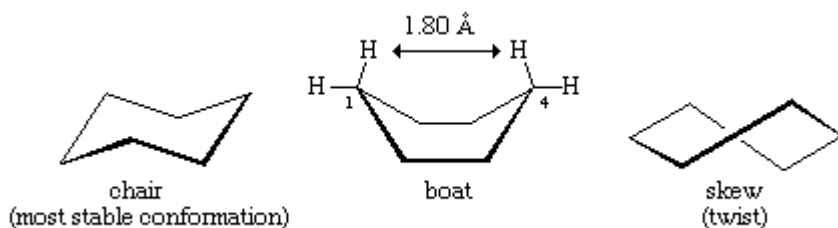


Gambar 4.6. Struktur kimia silkopropana dan sikloheksana (sumber: Jones, M., 2023)

Sikloheksana planar mengandung 12 pasang ikatan karbon-hidrogen yang hilang dan menjadi tidak stabil karena interaksi gerhana ini, atau regangan puntir. Ada masalah lain dengan bentuk planar. Dalam segi enam datar, sudut $C-C-C$ harus 120° , cukup jauh dari sudut optimum untuk karbon tetrahedral (biasanya dinyatakan sekitar $109,5^\circ$; faktanya, nilai optimum sebenarnya untuk sikloheksana adalah sekitar 112° , $C-C$ Sudut $C-C$ dalam

propana). Bagaimanapun, bentuk planar sikloheksana sangat tidak stabil karena regangan puntir dan sudut.

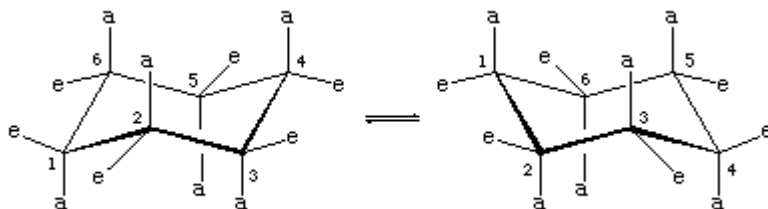
Bentuk energi yang lebih rendah dapat dibuat ketika cincin sikloheksana terdistorsi dari planaritas. Distorsi ini hanya melibatkan rotasi pada ikatan karbon-karbon, seperti yang terjadi pada etana atau alkana asiklik lainnya. Energi minimum sikloheksana adalah bentuk kursi. Dalam bentuk kursi, ikatan karbon-hidrogen tersusun rapi, dan sudut ikatan C—C—C adalah $111,5^\circ$, sangat mendekati nilai optimal.



Gambar 4.7. Konformasi isomer dalam bentuk kursi, kapal dan twist (sumber: Jones, M., 2023)

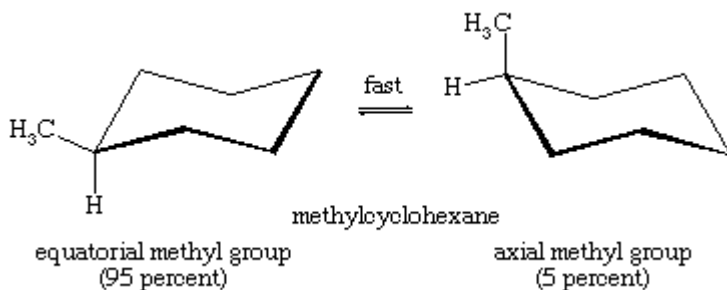
Perhatikan bahwa ada dua jenis ikatan karbon-hidrogen dalam kursi sikloheksana. Satu set enam ikatan karbon-hidrogen paralel tegak lurus terhadap permukaan tempat kursi berada (ini adalah ikatan aksial). Kumpulan enam lainnya kira-kira berada pada bidang cincin (ikatan khatulistiwa). Keenam hidrogen aksial adalah setara, begitu pula keenam ikatan ekuator.

kursi yang sama energinya. Proses ini dalam bahasa sehari-hari disebut “membalik” cincin.



Gambar 4.8. Rotasi pada ikatan karbon (sumber: Jones, M., 2023)

Hidrogen aksial di satu kursi menjadi hidrogen ekuator di kursi lainnya saat cincin “beralih” dari satu kursi ke kursi lainnya. Implikasi dari perubahan ini adalah terdapat lebih dari satu sikloheksana tersubstitusi tunggal. Dalam metilsikloheksana, misalnya, terdapat dua isomer konformasi, satu dengan gugus metil aksial dan satu lagi dengan gugus metil ekuator. Keduanya saling bertukar melalui pembalikan cincin.

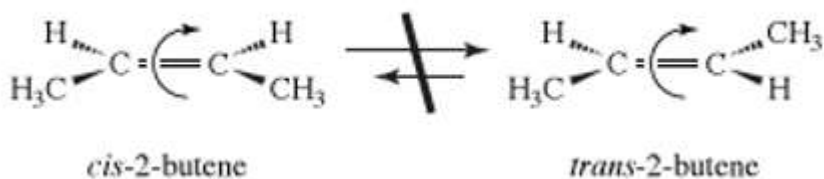


Gambar 4.9. Equatorial vs aksial (sumber: Jones, M., 2023)

Untuk isomer metil aksial, gugus metil berinteraksi secara tidak baik dengan gugus metilen di dekatnya. Interaksi destabilisasi ini tidak terdapat pada isomer ekuator. Metilsikloheksana aksial kurang stabil (energi lebih tinggi) dibandingkan isomer ekuator sebesar 1,8 kkal/mol.

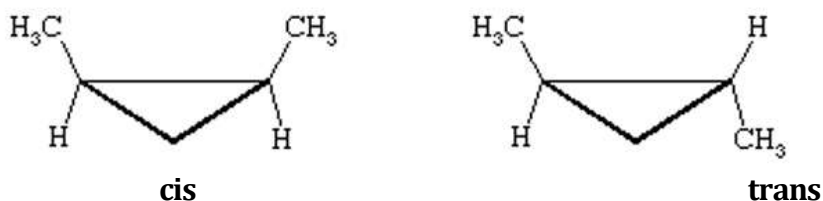
4.3 Bentuk *cis* dan *trans*

Selain molekul organik paling sederhana alkana, stereoisomer muncul di banyak jenis struktur kimia organik lainnya. Misalnya, pada alkena, terdapat dua versi 2-butena. Mereka secara tradisional disebut *cis*-2-butena dan *trans*-2-butena atau, dalam istilah yang lebih modern, (Z)- dan (E)-2-butena. Huruf Z dan E merupakan singkatan dari kata Jerman yang berarti “bersama” (*zusammen*) dan “terpisah” (*entgegen*). Pada prinsipnya, *cis*- dan *trans*-2-butena adalah isomer konformasi; secara teori, mereka dapat diinterkonversi dengan rotasi sederhana di sekitar ikatan rangkap pusat. Namun, dunia praktis melanggar prinsip tersebut, karena rotasi ini memerlukan sekitar 66 kkal/mol, jumlah energi yang tidak tersedia dalam kondisi normal.



Gambar 4.10. Struktur kimia cis-2-butena dan trans-2-butena
(sumber: Jones, M., 2023)

Jenis isomer cis dan trans lainnya terdapat pada senyawa cincin. Misalnya, cis- dan trans-1,2-dimetilsiklopropana adalah stereoisomer. Pada gambar di bawah, “bp/boiling point” berarti “titik didih.”



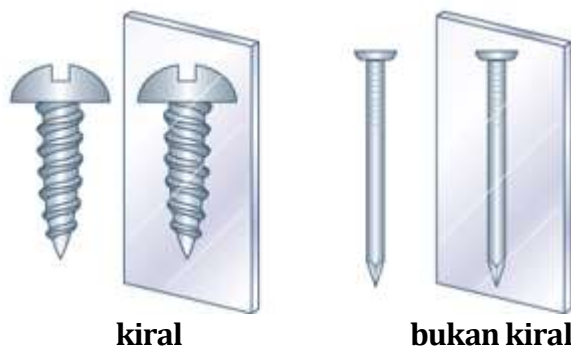
Gambar 4.11. Struktur kimia dan trans -1,2-dimetil siklo propane
(sumber: Jones, M., 2023)

Tidak ada rotasi yang dapat dibayangkan pada ikatan yang dapat menyeimbangkan kedua isomer, sehingga kedua molekul ini bukanlah isomer konformasi. Selain itu, karena tiga titik menentukan sebuah bidang, cincin siklopropana beranggota tiga harus datar; tidak ada kemungkinan distorsi di luar bidang. Namun ketika isomer trans dibalik, struktur ekuivalen tidak terbentuk, karena masing-masing dari dua gugus metil ekuator menjadi aksial. Karena gugus metil ekuator lebih stabil dibandingkan gugus metil aksial sebesar 1,74 kkal/mol, bentuk diaksial akan kurang stabil dibandingkan bentuk diequatorial sekitar dua kali lipat jumlahnya, atau 3,5 kkal/mol. Perbedaan energi ini berarti bahwa kurang dari 1

persen trans-1,4-dimetilsikloheksana yang ada pada kesetimbangan berada dalam bentuk yang kurang stabil.

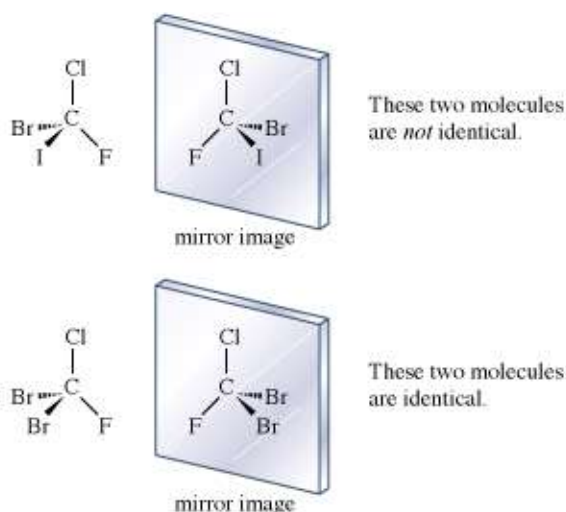
4.4 Enansiomer

Beberapa molekul berhubungan dengan bayangan cerminnya dengan cara yang sama. Molekul-molekul tersebut, menurut definisi, adalah stereoisomer, dan mereka diberi nama khusus enansiomer. Fenomena kidal, atau “kiralitas”, mungkin merupakan fenomena paling penting yang terkait dengan isomerisme. Banyak objek di dunia makroskopis yang bersifat kiral. Gunting dan sekrup adalah benda kiral yang sudah dikenal; mereka tidak dapat ditumpangkan dalam bayangan cerminnya. Namun benda-benda yang berkaitan, misalnya pisau atau paku, dapat ditumpangkan pada bayangan cerminnya sehingga tidak bersifat kiral. Jika tidak, maka itu kiral. Jika ya, maka benda tersebut adalah achiral (bukan kiral).



Gambar 4.12. Kiral dan bukan kiral pada bayangan cermin
(sumber: Jones, M., 2023)

Apabila setiap atom hidrogen dalam molekul metana diganti dengan atom yang berbeda, salah satu kemungkinan hasilnya adalah bromochlorofluoriodomethane (CBrClFI). Bayangan cermin dari molekul ini tidak dapat ditumpangkan. Pasti ada dua enansiomer dari molekul ini.

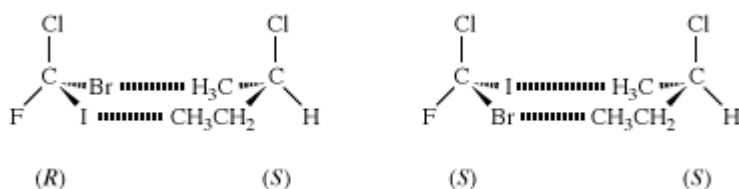


Gambar 4.13. Bayangan cermin (sumber: Jones, M., 2023)

Sebuah molekul dengan satu karbon stereogenik dapat berupa R atau S—dalam artian, “kidal” atau “kidal”. Satu set molekul tersebut sangat penting secara biologis: asam L-amino. Urusan tubuh—fungsi biologis—dikendalikan oleh protein, yang merupakan polimer dari hanya 20 jenis asam amino. Semua asam amino kecuali glisin achiral/bukan kiral mengandung satu karbon stereogenik, dan semuanya kecuali glisin adalah asam amino kidal. Tidak jelas mengapa pengertian ini dipilih melalui evolusi; mungkin seleksi itu terjadi akibat kecelakaan awal dalam memilih asam amino kidal. Kehidupan di luar bumi (jika ada) mungkin bertangan kiri atau kanan.

Semua sifat fisik enansiomer adalah identik kecuali sifat arah rotasi bidang cahaya terpolarisasi bidang. Jika salah satu enansiomer memutar bidang dalam satu arah (searah jarum jam) saat salah satu enansiomer memutar bidang tersebut, enansiomer lainnya akan memutar bidang dengan jumlah yang sama ke arah yang lain (dalam hal ini, berlawanan arah jarum jam). Misalnya, rotasi larutan standar (R)- dan (S)-2-aminobutana masing-masing adalah $-7,4$ dan $+7,4$ derajat.

Sifat kimia enansiomer juga identik, asalkan molekul lain yang bereaksi adalah achiral. Reaksi kimia enantiomer dianalogikan seperti tangan yang menggenggam bola. Jika bola tidak memiliki ciri, tangan kanan dan kiri (enansiomer) mempunyai interaksi yang persis sama dengan bola. Namun, jika bola tersebut memiliki tulisan “Label” dan dengan demikian merupakan objek kiral, bola berlabel tersebut akan aktif secara optik; itu akan meniru enansiomer tunggal. Tangan kiri dan kanan akan berinteraksi secara berbeda dengan bola yang diberi label. Jari kelingking tangan kanan akan mendekati huruf kapital “L” pada “Label” sedangkan ibu jari akan mendekati huruf kecil “l”. Untuk tangan kiri, interaksinya justru sebaliknya: jari kelingking akan mendekati huruf kecil “l” dan ibu jari akan menjadi huruf kapital “L.”



Gambar 4.14. (R) (S) dan (S) (S) bromoklorofluoriodometana
(sumber: Jones, M., 2023)

Gambar tersebut menunjukkan interaksi ini, serta pasangan molekuler di mana sepasang enansiomer, (R)- dan (S)-bromoklorofluoriodometana, berinteraksi dengan enansiomer tunggal, (S)-2-klorobutana. Pada enansiomer R, atom brom mendekati gugus metil ($-\text{CH}_3$), dan atom yodium mendekati gugus etil ($-\text{CH}_2\text{CH}_3$). Dalam enansiomer S, atom brom mendekati gugus etil, dan atom yodium mendekati gugus metil. Gambar tersebut hanya menunjukkan satu dari sekian banyak kemungkinan interaksi, yang masing-masing interaksi berbeda.

4.5 Stereoisomer Molekul

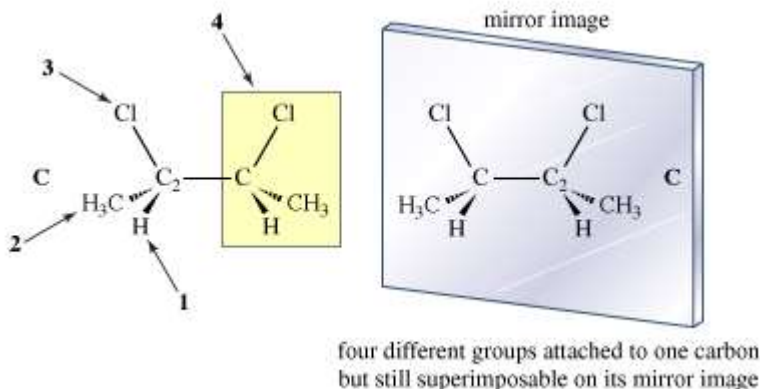
Suatu atom bersifat stereogenik apabila peralihan dua atom atau kelompok atom yang terikat padanya menghasilkan sepasang stereoisomer. Sejauh ini, molekul tanpa atau hanya satu atom

stereogenik telah dibahas. Seringkali situasinya lebih kompleks; memang, mungkin ada beberapa atom stereogenik dalam sebuah molekul. Sebuah molekul dengan hanya satu atom stereogenik hanya memiliki dua stereoisomer—enansiomer R dan S. Jika terdapat dua atom stereogenik dalam suatu molekul, keduanya dapat berupa R atau S. Jadi, ada empat kemungkinan: RR, SS, RS, dan SR. Tiga atom stereogenik akan menghasilkan delapan kemungkinan: RRR, RRS, RSR, SRR, SSR, SRS, RSS, dan SSS. Rumus mencari jumlah maksimum stereoisomer X adalah $X = 2^n$, dimana n adalah jumlah atom stereogenik dalam molekul.

Rumus $X = 2^n$ secara andal memberikan jumlah stereoisomer maksimum, tetapi dalam situasi simetri tinggi rumus tersebut gagal memberikan bilangan real. Misalnya, gagal untuk 2,3-diklorobutana [$\text{H}_2\text{Cl}_2(\text{CH}_3)_2$]. Sepasang enansiomer, SS dan RR, muncul. Namun kombinasi lainnya menghasilkan “pasangan” senyawa SR yang identik. Hal ini terjadi karena 2,3-diklorobutana mengandung bidang simetri internal. Hasilnya lebih sedikit dari jumlah maksimum stereoisomer yang diprediksikan oleh rumus. Ada tiga stereoisomer yang mungkin terjadi: sepasang enansiomer (A dan B) dan molekul akiral C, yang disebut “senyawa meso”. Senyawa meso adalah molekul achiral/bukab kiral yang tetap mengandung atom stereogenik.

Untuk menemukan molekul yang merupakan enansiomer, kita harus menggambar bayangan cermin dari molekul aslinya dan melihat apakah molekul-molekul tersebut dapat ditumpangkan. Itulah satu-satunya cara yang benar-benar aman untuk melakukannya. Mungkin ada yang berpendapat bahwa ada sesuatu yang istimewa pada molekul yang mengandung empat gugus berbeda yang terikat pada satu karbon. Pertanyaannya sekarang adalah apakah keberadaan atom seperti itu (biasanya karbon) cukup atau perlu agar molekul menjadi kiral. Jawabannya adalah tidak dalam setiap kasus. Meskipun mencari karbon semacam itu adalah cara yang baik untuk memulai pencarian enansiomer, tidak ada cara untuk menghindari kebutuhan utama untuk menuliskan bayangan cermin dan memeriksa superimposabilitas. Untuk menguji pertanyaan kecukupan, misalnya, lihat senyawa meso C dari 2,3-dimetilbutana. Ini tentu saja mengandung karbon yang

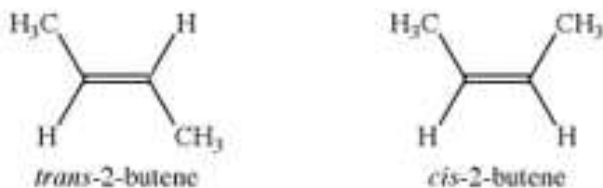
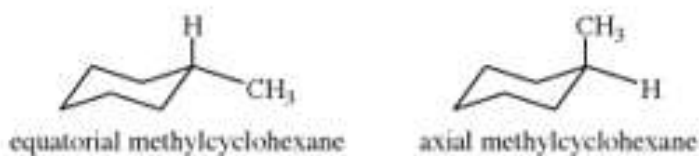
terikat pada empat kelompok berbeda. Karbon C₂ yang ditunjukkan terikat pada hidrogen, gugus metil, klor, dan sisa molekul. Namun C adalah achiral/bukan kiral.



Gambar 4.15. empat grup berbeda menempel dengan satu karbon tetapi masih sangat tidak mungkin pada bayangan cermin (sumber: Jones, M., 2023)

4.6 Diastereomer

Sikloheksana bersifat akiral, begitu pula metilsikloheksana aksial dan khatulistiwa. Kedua metilsikloheksana (gugus metil aksial dan ekuator) merupakan stereoisomer, namun bukan enansiomer. Isomer semacam itu—stereoisomer yang bukan bayangan cermin—disebut diastereomer. Molekul cis- dan trans-2-butena adalah diastereomer, begitu pula cis- dan trans-1,2-dimetilsiklopropana. Namun, dalam dimetilsiklopropana, senyawa cis bersifat akiral, tetapi senyawa trans terdapat sebagai sepasang enansiomer. Oleh karena itu, ada tiga stereoisomer 1,2-dimetilsiklopropana.



Gambar 4.16. Pasangan dari diastereomer-stereoisomer tetapi bukan enansiomer (sumber: Jones, M., 2023)

4.7 Kiralitas Dalam Bahan Alami dan Sintetis

Sebagian besar fungsi molekul-molekul yang aktif secara biologis bergantung pada kesesuaiannya, pada hubungan gembok yang indah antar molekul yang memungkinkan aktivitas biokimia tertentu untuk hidup atau mati. Dalam proses evolusi, sifat kiralitas—kewenangan—menjadi bagian penting dalam sistem gembok dan kunci. Prinsip di balik gagasan ini sederhana. Sarung tangan kiri tidak cocok untuk tangan kanan, dan dengan cara yang sama, salah satu anggota pasangan molekul enansiomer mungkin cocok dengan molekul lain sedangkan anggota lainnya tidak. Kekhususan reaksi biologis dan ketergantungannya pada kesesuaian mempunyai manfaat dan kerugian. Kombinasi 20 kemungkinan asam amino membentuk protein, dan protein

bertanggung jawab atas fungsi biologis. Kesesuaian yang tepat sangat penting. Mekanisme gembok dan kunci telah berevolusi menjadi sangat presisi, dan sebagian besar presisi tersebut merupakan hasil dari penggunaan asam amino. Presisi adalah salah satu manfaat kekhususan.

4.8 Notasi E-Z

Sistem penamaan isomer cis/trans tidak efektif ketika ikatan ganda memiliki lebih dari dua substituen. Dalam hal ini, tanda E/Z dapat digunakan. Tanda Z dari Bahasa Jerman bersama berarti bersama dan berhubungan dengan cis, sedangkan tanda E dari Bahasa Jerman entgegen berarti berlawanan dan berhubungan dengan trans. Menurut kaidah prioritas Cahn-Ingold-Prelog, konfigurasi molekul disebut E atau Z. Untuk setiap atom yang terikat pada ikatan ganda, substituen mana yang memiliki prioritas tertinggi harus ditentukan. Jika dua substituen dengan prioritas lebih tinggi berada di sisi yang sama, susunan Z digunakan, sedangkan susunan E digunakan jika mereka berada di sisi yang berlawanan. (Wikipedia, 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Jones, M. 2023. *isomerism*. *Encyclopedia Britannica*. Diakses melalui <https://www.britannica.com/science/isomerism>. Diakses pada tanggal 12 September 2023
- Ralph, H., Murphy, E., & Gleichner, M. 1997. General chemistry: principles and modern applications.
- Webster, M. 2011. Online dictionary. *Room Temperature*, "[retrieved at URL: <http://www.merriam-webster.com/medical/room%20temperature> on Dec. 12, 2014].
- Wikipedia. 2021. Isomerisme cis-trans. Diakses melalui https://id.wikipedia.org/wiki/Isomerisme_cis-trans. Diakses pada tanggal 11 september 2023.

BAB 5

POLIMER DAN POLIMERISASI

Oleh Eka Cahya Muliawati

5.1 Pendahuluan

Polimer adalah molekul besar yang terdiri dari berulang-ulang unit struktural yang disebut monomer. Monomer adalah unit dasar yang bergabung bersama untuk membentuk polimer melalui proses yang disebut polimerisasi. Polimer dapat terbentuk secara alami atau sintetis dan memiliki berbagai macam sifat dan aplikasi bergantung pada jenis monomer yang digunakan dan cara polimerisasi dilakukan.

Contoh polimer yang umum termasuk plastik, karet, nilon, polietilena, dan protein. Polimer dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, termasuk padat, cair, dan bahkan dalam bentuk serat panjang. Sifat-sifat polimer seperti kekuatan, elastisitas, ketahanan terhadap panas, dan sifat isolatif listrik sering kali membuatnya berguna dalam berbagai aplikasi industri seperti pembuatan bahan kemasan, produk otomotif, tekstil, dan banyak lagi.

5.2 Sejarah, Sifat, Manfaat dan Klasifikasi Jenis Polimer

Sejarah polimer adalah cerita perkembangan ilmu dan teknologi yang berkaitan dengan bahan-bahan polimer, yang dikenal sebagai bahan kimia berantai panjang yang terbentuk dari molekul-molekul kecil yang disebut monomer. Polimer memiliki banyak aplikasi dalam kehidupan sehari-hari, seperti plastik, karet, serat tekstil, dan banyak produk lainnya. Berikut adalah gambaran umum tentang sejarah polimer:

1. **Abad ke-19:** Pengembangan awal bahan polimer dimulai pada abad ke-19. Penemuan-penemuan awal yang penting termasuk vulkanisasi karet oleh Charles Goodyear pada tahun 1839 dan sintesis plastik pertama, yaitu parkesine, oleh Alexander Parkes pada tahun 1862. Sintesis polimer alam juga dimulai pada

periode ini, seperti isolasi selulosa dari kayu oleh Anselme Payen pada tahun 1838.

2. **Awal Abad ke-20:** Penemuan polimer sintetis pertama yang signifikan adalah bakelite, yang ditemukan oleh Leo Baekeland pada tahun 1907. Bakelite adalah plastik pertama yang diproduksi secara massal dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Perkembangan lainnya pada masa ini termasuk neoprene (karet sintetis) yang ditemukan oleh Wallace Carothers pada tahun 1931 dan nylon yang ditemukan oleh Carothers pada tahun 1935.
3. **Periode Pasca-Perang Dunia II:** Setelah Perang Dunia II, industri polimer berkembang pesat. Penemuan polietilena oleh Karl Ziegler dan Giulio Natta pada tahun 1953 memungkinkan produksi plastik berat dengan biaya rendah. Ini membuka jalan bagi perkembangan industri plastik yang besar.
4. **Tahun 1960-an hingga Sekarang:** Selama beberapa dekade berikutnya, banyak jenis polimer baru ditemukan dan dikembangkan, termasuk polipropilena, polivinil klorida (PVC), polistiren, dan banyak lagi. Polimer teknik seperti poliuretan dan epoksi juga menjadi semakin penting dalam aplikasi teknik dan industri.
5. **Abad ke-21:** Perkembangan dalam ilmu dan teknologi polimer terus berlanjut pada abad ke-21. Terdapat peningkatan besar dalam pemahaman tentang sifat dan aplikasi polimer, termasuk polimer bio-bahan-bahan seperti polimer berbasis selulosa yang ramah lingkungan.

Perkembangan polimer dari tahun ke tahun tidak lepas karena polimer memiliki sifat-sifat yang bervariasi tergantung pada jenis polimer, struktur molekuler, dan metode pembuatannya. Berikut adalah **beberapa sifat umum dari polimer:**

1. **Fleksibilitas dan Kekuatan:** Banyak polimer memiliki sifat fleksibel yang memungkinkan mereka untuk dapat ditekuk atau dibentuk tanpa patah. Sifat kekuatan polimer juga bervariasi, dan beberapa polimer dapat memiliki kekuatan yang setara atau bahkan melebihi kekuatan logam.

2. Ringan: Sebagian besar polimer memiliki densitas rendah, membuatnya ringan. Hal ini membuat polimer menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi di mana berat adalah faktor penting, seperti dalam industri otomotif dan dirgantara.
3. Isolator Termal dan Listrik: Banyak polimer memiliki kemampuan baik sebagai isolator termal dan listrik. Oleh karena itu, polimer sering digunakan dalam produksi kabel listrik, komponen elektronik, dan peralatan lainnya.
4. Tahan Korosi: Beberapa polimer tahan terhadap korosi oleh zat kimia atau lingkungan tertentu, menjadikannya alternatif yang baik untuk logam dalam beberapa aplikasi.
5. Tidak Mudah Terurai: Salah satu sifat polimer yang dapat menjadi tantangan adalah ketidakmudahan terurai. Sebagian besar polimer membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terurai secara alami, menyebabkan masalah lingkungan dan limbah.
6. Penyerapan Air: Beberapa polimer dapat menyerap air, yang dapat mempengaruhi sifat mekanis dan dimensi mereka. Oleh karena itu, pengendalian penyerapan air seringkali penting dalam penggunaan polimer.
7. Biokompatibilitas: Beberapa polimer bersifat biokompatibel, yang berarti mereka dapat digunakan dalam aplikasi medis tanpa menyebabkan reaksi merugikan pada tubuh manusia.
8. Transparansi atau Kejernihan: Beberapa polimer memiliki sifat transparan atau kejernihan yang baik, membuatnya cocok untuk aplikasi seperti kemasan makanan, lensaacamata, dan layar elektronik.
9. Daya Serap dan Pelepasan Panas (Histeresis Termal): Beberapa polimer dapat menunjukkan daya serap panas yang tinggi dan pelepasan panas yang signifikan saat mengalami perubahan suhu, yang dikenal sebagai histeresis termal.
10. Daya Lentur dan Pemanjangan: Polimer seringkali memiliki daya lentur dan pemanjangan yang baik, membuatnya tahan terhadap deformasi dan retak.

11. **Resiliensi dan Ketahanan terhadap Aus:** Beberapa polimer memiliki sifat resiliensi yang baik, yaitu kemampuan untuk pulih dari deformasi. Beberapa polimer juga dapat menunjukkan ketahanan terhadap aus dan abrasi.

Sifat-sifat ini memberikan polimer fleksibilitas dan kegunaan yang luas dalam berbagai aplikasi di berbagai industri. Penting untuk memahami sifat-sifat ini ketika memilih dan merancang penggunaan polimer dalam suatu aplikasi tertentu.

Polimer memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai industri, termasuk otomotif, elektronik, perawatan kesehatan, dan banyak lagi. Karena sifat-sifatnya yang dapat diubah-ubah, polimer memiliki fleksibilitas yang luar biasa dalam berbagai aplikasi, dan penelitian terus berlanjut untuk mengembangkan polimer yang lebih efisien, berkelanjutan, dan canggih. Berikut kebermanfaatan dan dampak negatif dari keberadaan polimer.

Kebermanfaatan atau dampak positif dari polimer yaitu :

1. **Ringan dan Kuat:** Banyak polimer memiliki kekuatan yang tinggi namun tetap ringan. Oleh karena itu, mereka sering digunakan dalam industri otomotif, penerbangan, dan konstruksi untuk mengurangi berat dan meningkatkan kekuatan material.
2. **Fleksibilitas:** Beberapa jenis polimer sangat fleksibel dan dapat dibentuk dengan mudah. Ini membuat mereka ideal untuk digunakan dalam berbagai produk, mulai dari kemasan hingga peralatan rumah tangga.
3. **Tahan Korosi:** Polimer sering digunakan sebagai alternatif untuk logam dalam situasi yang rentan terhadap korosi. Mereka tidak terpengaruh oleh air atau sejumlah besar zat kimia, yang membuatnya ideal untuk aplikasi yang melibatkan eksposur terhadap lingkungan yang korosif.
4. **Isolasi Listrik:** Polimer dapat menjadi isolator listrik yang baik, yang membuatnya berguna dalam pembuatan kabel dan komponen elektronik. Plastik isolasi pada kabel listrik adalah contoh umum penggunaan polimer dalam aplikasi isolasi listrik.
5. **Biokompatibilitas:** Beberapa polimer bersifat biokompatibel, artinya mereka dapat digunakan dalam aplikasi medis tanpa

menyebabkan reaksi yang merugikan pada tubuh manusia. Contohnya termasuk polimer yang digunakan dalam implant medis dan perangkat medis lainnya.

6. **Kemudahan Pemrosesan:** Polimer dapat dicetak, disuntikkan, atau diekstrusi dengan mudah, memberikan fleksibilitas dalam pembuatan berbagai bentuk dan ukuran produk. Ini membuatnya ideal untuk pembuatan produk massal.
7. **Efisiensi Energi:** Penggunaan polimer dalam kendaraan dan bangunan dapat membantu mengurangi konsumsi energi karena kekuatan dan ringannya. Selain itu, polimer dapat digunakan dalam bahan bangunan yang dapat meningkatkan isolasi termal dan mengurangi kebocoran energi.
8. **Kemampuan Penyerapan Getaran dan Suara:** Beberapa polimer memiliki kemampuan penyerapan getaran dan suara, membuatnya berguna dalam aplikasi di mana peredam suara atau pengurangan getaran diperlukan.

Penggunaan polimer terus berkembang seiring dengan penemuan dan pengembangan teknologi baru. Meskipun memiliki manfaat yang besar, juga penting untuk mempertimbangkan dampak lingkungan dari produksi dan penggunaan polimer serta upaya untuk mendaur ulang dan mengurangi limbah polimer.

Selain mempunyai kebermanfaatan, polimer juga mempunyai kelemahan atau dampak negatif bagi lingkungan diantaranya yaitu :

1. **Pencemaran Lingkungan:** Produksi dan pembuangan polimer dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah plastik yang tidak terkelola dengan baik dapat mencemari air, tanah, dan udara.
2. **Tidak Mudah Terurai:** Sebagian besar polimer memerlukan waktu yang sangat lama untuk terurai, menyebabkan masalah limbah yang serius. Plastik dapat bertahan di lingkungan selama berabad-abad.
3. **Bahan Baku Terbatas:** Beberapa bahan baku untuk polimer, seperti minyak bumi, adalah sumber daya yang terbatas. Ketergantungan pada bahan baku ini dapat menimbulkan masalah keberlanjutan.

4. **Mikroplastik:** Proses degradasi polimer dapat menghasilkan mikroplastik, partikel kecil yang dapat mencemari ekosistem air dan memasuki rantai makanan.
5. **Toxic Additives:** Beberapa polimer menggunakan bahan tambahan yang dapat bersifat toksik. Beberapa zat aditif yang digunakan dalam pembuatan polimer dapat menyebabkan dampak kesehatan yang negatif.
6. **Ketergantungan pada Bahan Bakar Fosil:** Sebagian besar polimer diproduksi dari bahan bakar fosil, yang tidak hanya menghasilkan emisi gas rumah kaca tetapi juga menimbulkan ketergantungan pada sumber daya terbatas.
7. **Efek Terhadap Kehidupan Laut:** Limbah plastik dapat merusak ekosistem laut dan memengaruhi kehidupan laut, termasuk satwa laut yang memakan atau terjebak oleh plastik.

Penting untuk terus mengembangkan solusi berkelanjutan dan mendukung inovasi yang mengurangi dampak negatif polimer, seperti pengembangan polimer yang mudah terurai dan teknologi daur ulang yang lebih efisien. Perubahan perilaku konsumen dan upaya untuk mendaur ulang juga kunci dalam mengurangi dampak negatif polimer terhadap lingkungan.

Setelah mengetahui sejarah, sifat dan manfaat polimer, terdapat juga **klasifikasi polimer**. Polimer dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria, termasuk sumber bahan baku, struktur molekuler, dan metode sintesis. Berikut adalah beberapa klasifikasi umum jenis polimer:

Berdasarkan Sumber Bahan Baku:

1. **Polimer Alam (Biopolimer):** Diperoleh dari sumber-sumber alami seperti tanaman atau hewan. Contoh termasuk selulosa, protein, dan karet alami.
2. **Polimer Sintetis (Polimer Buatan):** Dibuat secara artifisial melalui proses kimia. Contoh termasuk polietilena, polipropilena, dan polivinil klorida (PVC).

Berdasarkan Struktur Molekuler:

1. **Polimer Linear:** Molekul-molekul polimer dihubungkan dalam rantai lurus tanpa cabang. Contoh termasuk polietilena dan polipropilena.
2. **Polimer Bercabang:** Molekul-molekul polimer memiliki rantai utama dengan cabang-cabang. Contoh termasuk polietilena bercabang dan polimer bervinil seperti polistirena.
3. **Polimer Silang (*Network*):** Molekul-molekul polimer dihubungkan oleh ikatan silang, membentuk struktur tiga dimensi yang kuat. Contoh termasuk karet vulkanisir dan resin epoksi.
4. **Polimer Cincin:** Molekul-molekul polimer membentuk cincin tertutup atau rantai sirkular. Contoh termasuk polietilena oksida dan polipropilena oksida.

Berdasarkan Metode Sintesis:

1. **Polimer Adisi:** Dibentuk melalui reaksi adisi berulang antara molekul-molekul monomer tanpa pembentukan produk samping. Contoh termasuk polietilena dan polipropilena.
2. **Polimer Kondensasi:** Dibentuk melalui reaksi kondensasi di mana dua molekul monomer bergabung dengan pembentukan produk samping seperti air atau alkohol. Contoh termasuk nilon dan poliester.

Berdasarkan Sifat Termodinamika:

1. **Polimer Amorf:** Molekul-molekul polimer tidak memiliki struktur kristal yang teratur. Contoh termasuk polietilena rendah dan karet alami.
2. **Polimer Semikristalin:** Molekul-molekul polimer memiliki struktur kristal sebagian, sebagian besar amorf. Contoh termasuk polietilena tinggi dan polipropilena.

Berdasarkan Penggunaan atau Aplikasi:

1. **Polimer Plastik:** Digunakan dalam pembuatan produk-produk plastik, seperti botol, kemasan, dan mainan.
2. **Polimer Karet:** Digunakan dalam pembuatan produk-produk karet, seperti ban mobil, selang, dan sepatu.

3. **Polimer Serat:** Digunakan dalam pembuatan tekstil dan serat sintetis, seperti nilon, poliester, dan akrilik.
4. **Polimer Bioresorbable:** Merupakan polimer yang dapat terurai secara alami di dalam tubuh dan digunakan dalam aplikasi medis, seperti jahitan yang larut.
5. **Polimer Elektronik:** Digunakan dalam pembuatan perangkat elektronik, seperti OLED (*Organic Light Emitting Diodes*) dan transistor organik.

Klasifikasi ini memberikan gambaran umum tentang keragaman polimer dan berbagai macam aplikasi mereka dalam kehidupan sehari-hari.

5.3 Teknik Polimerisasi

Teknik polimerisasi adalah proses kimia di mana monomer (molekul-molekul yang dapat bergabung bersama) digabungkan untuk membentuk polimer (molekul berantai panjang) yang mempunyai berat molekul yang besar. Polimerisasi adalah langkah penting atau cara dalam pembuatan berbagai jenis polimer, termasuk plastik, karet, serat, dan berbagai bahan polimer lainnya. Terdapat beberapa teknik utama dalam polimerisasi (pembuatan polimer), yang dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu: polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi.

Polimerisasi adisi adalah salah satu jenis reaksi polimerisasi di mana monomer-monomer yang berisi ikatan rangkap bereaksi untuk membentuk polimer. Reaksi ini biasanya melibatkan molekul-molekul yang memiliki ikatan rangkap ganda, seperti alkena (olefin). Polimerisasi adisi sering kali dipicu oleh inisiator, yang dapat berupa panas, cahaya, atau bahan kimia lainnya. Tahapan utama polimerisasi adisi adalah inisiasi, propagasi, dan terminasi. Berikut adalah penjelasan lebih rinci:

Tahapan Proses Polimerisasi Adisi diantaranya:

1. **Inisiasi (*Initiation*):** Proses dimulai dengan pembentukan radikal bebas (molekul dengan elektron bebas) melalui reaksi dengan zat penginisiasi. Ini dapat terjadi secara termal (panas) atau dengan bantuan energi seperti cahaya atau radiasi.

2. **Propagasi (*Propagation*):** Radikal bebas merespons dengan monomer untuk membentuk radikal baru. Molekul ini kemudian berinteraksi dengan monomer lain untuk membentuk radikal yang lebih banyak, dan proses ini terus berlanjut membentuk rantai polimer.
3. **Terminasi (*Termination*):** Rantai polimer berkembang hingga mencapai panjang yang diinginkan, dan reaksi dapat berakhir dengan dua cara: a) Terminasi oleh dua radikal berbenturan, atau b) Terminasi oleh reaksi dengan molekul yang tidak memiliki radikal.

Klasifikasi secara teknis polimerisasi adisi adalah:

1. **Polimerisasi Radikal Bebas:** Ini adalah teknik yang paling umum digunakan dalam produksi plastik. Proses ini melibatkan penggunaan inisiator radikal bebas, seperti peroksida, yang memecah ikatan kimia dalam monomer, menghasilkan radikal bebas yang bereaksi dengan monomer untuk membentuk rantai polimer. Contoh termasuk polimerisasi etilena menjadi polietilena dan polimerisasi stirena menjadi polistiren.
2. **Polimerisasi Anionik:** Dalam polimerisasi anionik, monomer-monomer yang sensitif terhadap ion-anion (seperti stirena) diaktivasi dengan basa kuat atau inisiator anionik. Proses ini digunakan untuk membuat polimer seperti polistiren.
3. **Polimerisasi Kationik:** Polimerisasi kationik terjadi ketika monomer-monomer yang peka terhadap ion kation (seperti isobutilena) diaktivasi oleh inisiator kationik, seperti asam Lewis atau asam boron. Contoh produk termasuk polimer polyisobutylene (PIB).

Contoh polimer yang dihasilkan melalui polimerisasi adisi termasuk polietilena, polipropilena, polistirena, dan polivinil klorida (PVC). Proses ini sangat umum dalam pembuatan berbagai produk plastik.

Penting untuk dicatat bahwa dalam polimerisasi adisi, tidak ada produk samping yang dihasilkan secara signifikan, dan semua

monomer yang diambil berpartisipasi dalam pembentukan rantai polimer.

Selanjutnya adalah **Polimerisasi Kondensasi**: Proses ini melibatkan reaksi antara dua monomer atau lebih dengan pelepasan zat kecil seperti air, amonia, atau asam. Polimerisasi kondensasi umumnya terjadi dalam kondisi yang tidak memerlukan inisiator radikal bebas. Contoh polimer hasil polimerisasi kondensasi termasuk polietilen tereftalat (PET) yang digunakan dalam botol plastik dan nilon (poliamida).

Tahapan Proses Polimerisasi Kondensasi diantaranya:

1. **Reaksi Monomer (*Monomer Reaction*)**: Dua atau lebih monomer bereaksi untuk membentuk senyawa kecil (produk samping), seperti air atau alkohol. Reaksi ini melibatkan pelepasan molekul kecil dan menghasilkan sebuah dimer atau oligomer.
2. **Pertumbuhan Rantai (*Chain Growth*)**: Monomer dan oligomer bereaksi satu sama lain untuk membentuk rantai polimer yang semakin panjang. Reaksi ini juga melibatkan pelepasan molekul kecil.
3. **Pertumbuhan Rantai Lanjutan dan Pembentukan Produk Akhir (*Further Chain Growth and Final Product Formation*)**: Rantai polimer terus berkembang dengan bergabungnya monomer atau oligomer baru hingga mencapai panjang yang diinginkan. Pada akhirnya, rantai polimer tersebut berhenti tumbuh dan membentuk produk akhir, seringkali dihasilkan dengan pelepasan molekul kecil seperti air.
4. **Terminasi (*Termination*)**: Proses ini dapat berlanjut hingga semua monomer terpakai atau sampai produk akhir terbentuk. Reaksi ini terjadi ketika dua ujung rantai polimer bereaksi satu sama lain, membentuk rantai polimer yang lebih panjang.

Setelah tahapan-tahapan ini, polimer dapat mengalami proses lanjutan seperti pemurnian, pemotongan rantai (jika perlu), dan penanganan lanjutan sesuai dengan aplikasi yang diinginkan. Tahap akhirnya adalah mendapatkan polimer dengan sifat-sifat tertentu yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang diinginkan. Setiap teknik polimerisasi memiliki karakteristik dan aplikasi yang

berbeda tergantung pada jenis polimer yang diinginkan dan sifat-sifat yang diperlukan. Proses-proses ini telah berkembang seiring waktu dan menjadi dasar bagi industri polimer modern yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari kita.

5.4 Degradasi Polimer

Degradasi polimer merujuk pada proses perubahan struktur molekuler polimer yang dapat mengakibatkan penurunan sifat fisik dan mekanisnya. Degradasi dapat terjadi karena berbagai faktor, termasuk panas, radiasi, oksidasi, dan aksi mikroorganisme. Proses degradasi polimer dapat berbeda-beda tergantung pada kondisi dan faktor yang mempengaruhinya. Berikut adalah beberapa faktor dan proses degradasi polimer umum:

1. Degradasi Termal:

Panas: Pemanasan berlebih atau paparan panas yang berkepanjangan dapat menyebabkan degradasi termal polimer. Pada suhu tinggi, rantai polimer dapat mengalami pemecahan atau reaksi kimia yang menyebabkan perubahan struktur.

2. Degradasi Radiasi:

a. **Radiasi Ultraviolet (UV):** Paparan radiasi UV dapat menyebabkan pemutihan, pecahnya ikatan, dan perubahan kimia dalam polimer. Ini dapat terjadi pada polimer yang digunakan di luar ruangan atau yang terpapar sinar matahari secara langsung.

b. **Radiasi Ion:** Radiasi ion, seperti radiasi gamma atau sinar X, dapat merusak ikatan kimia dalam rantai polimer dan menyebabkan perubahan struktural.

3. Degradasi Oksidatif:

a. **Oksidasi:** Paparan oksigen dapat menyebabkan reaksi oksidatif yang merusak rantai polimer. Ini dapat terjadi pada polimer yang terpapar udara atau yang tidak disimpan dengan baik.

b. **Ozonasi:** Kontak dengan ozon dapat menyebabkan degradasi polimer, terutama pada polimer yang rentan terhadap serangan oksidatif.

4. Degradasi Kimia:

- a. **Hidrolisis:** Reaksi dengan air dapat menyebabkan hidrolisis, di mana rantai polimer dipecah menjadi fragmen-fragmen kecil. Ini terutama berlaku untuk polimer yang rentan terhadap air, seperti poliester dan poliamida.
- b. **Asam dan Basa:** Paparan asam atau basa kuat dapat menyebabkan degradasi kimia polimer dengan merusak ikatan kimia dalam rantai polimer.

5. Degradasi oleh Mikroorganisme:

Biodegradasi: Beberapa polimer dapat diuraikan oleh mikroorganisme seperti bakteri atau jamur. Proses biodegradasi mengubah struktur polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana dan dapat diuraikan oleh organisme hidup.

6. Degradasi Mekanis:

Penggunaan Berulang atau Pemrosesan Mekanis: Pemrosesan berulang atau pemakaian mekanis yang berlebihan dapat menyebabkan degradasi mekanis polimer, mengakibatkan retakan atau patah.

7. Degradasi oleh Zat Kimia Khusus:

Beberapa polimer dapat mengalami degradasi oleh zat kimia tertentu, tergantung pada komposisi kimianya.

Penting untuk memahami faktor-faktor yang dapat menyebabkan degradasi polimer dan menerapkan langkah-langkah perlindungan atau stabilisasi yang sesuai untuk mempertahankan sifat dan kinerja polimer dalam jangka waktu yang diinginkan. Proses degradasi polimer seringkali dapat dikurangi atau dikelola melalui formulasi material yang cerdas, penanganan yang baik, dan penggunaan aditif atau stabilizer khusus.

Karakteristik polimer yang mengalami degradasi akan mengalami perubahan tergantung pada jenis degradasi yang terjadi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Berikut adalah beberapa karakteristik umum dari polimer yang mengalami degradasi:

1. **Penurunan Kekuatan Mekanis:** Rantai polimer yang terdegradasi cenderung mengalami pemutusan atau perubahan struktural, menyebabkan penurunan kekuatan

- mekanis. Ini dapat tercermin dalam penurunan kekuatan tarik, kekuatan tekuk, atau kekuatan impak.
2. Peningkatan Kerapuhan: Degradasi dapat menyebabkan peningkatan kerapuhan polimer, membuatnya lebih mudah pecah atau retak bahkan pada beban yang relatif rendah.
 3. Perubahan Warna: Pada beberapa polimer, degradasi dapat menyebabkan perubahan warna, seperti pemutihan atau perubahan warna yang tidak diinginkan.
 4. Peningkatan Kelarutan: Polimer yang mengalami degradasi dapat menjadi lebih larut dalam pelarut tertentu karena pemecahan rantai polimer.
 5. Penurunan Massa Molekuler (Molecular Weight): Degradasi sering kali diikuti oleh penurunan massa molekul polimer. Pemotongan rantai polimer menghasilkan fragmen-fragmen molekuler yang lebih kecil.
 6. Perubahan Sifat Fisik: Sifat fisik polimer, seperti titik leleh, titik lembek, dan ketahanan terhadap suhu tinggi, dapat mengalami perubahan sebagai akibat dari degradasi.
 7. Penurunan Daya Tahan terhadap Radiasi UV: Polimer yang terdegradasi oleh radiasi UV, seperti polimer yang digunakan di luar ruangan, dapat mengalami penurunan daya tahan terhadap radiasi UV dan penuaan yang lebih cepat.
 8. Perubahan Struktur Permukaan: Degradasi dapat menyebabkan perubahan struktur permukaan polimer, seperti pembentukan retakan, goresan, atau perubahan tekstur.
 9. Peningkatan Penyerapan Air: Beberapa polimer yang mengalami degradasi dapat menjadi lebih mudah menyerap air, karena pemecahan rantai polimer dan pembentukan grup fungsional polar baru.
 10. Peningkatan Konduktivitas: Pada beberapa kasus, degradasi dapat meningkatkan konduktivitas listrik polimer karena pembentukan jalur konduktif baru atau perubahan struktur elektronik.

11. Perubahan Sifat Termal: Sifat termal polimer, seperti kapasitas panas dan konduktivitas termal, dapat mengalami perubahan sebagai akibat degradasi.

Penting untuk memahami karakteristik-karakteristik ini agar dapat mengidentifikasi polimer yang mengalami degradasi dan menentukan sejauh mana perubahan tersebut dapat mempengaruhi kinerja polimer dalam aplikasi tertentu.

5.5 Karakterisasi Polimer

Analisis karakterisasi polimer adalah langkah-langkah untuk mengevaluasi dan memahami sifat-sifat fisik, kimia, dan mekanis polimer. Proses ini membantu dalam memahami struktur dan kinerja polimer untuk memastikan bahwa mereka sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan dalam analisis karakterisasi polimer:

1. Analisis Spektroskopi:

- a. **Spektroskopi Inframerah (FTIR):** Digunakan untuk menganalisis ikatan kimia dalam polimer dan mendeteksi grup fungsional tertentu.
- b. **Spektroskopi Nuklir Magnet Resonansi (NMR):** Memberikan informasi tentang struktur molekuler dan konformasi rantai polimer.

2. Analisis Termal:

- a. **Analisis Termogravimetri (TGA):** Mengukur perubahan berat polimer seiring dengan kenaikan suhu, memberikan informasi tentang kestabilan termal dan degradasi.
- b. **Analisis Diferensial Thermal (DTA):** Mengukur perubahan suhu selama proses termal, seperti transisi fasa dan degradasi.
- c. **Diferensial Scanning Calorimetry (DSC):** Menilai transisi fasa, kestabilan termal, dan panas laten perubahan fasa polimer.

3. Analisis Kimia:

- a. **Kromatografi Gas (GC) atau Cair (HPLC):** Digunakan untuk memisahkan dan mengidentifikasi komponen polimer atau kontaminan.

- b. Analisis Berat Molekul (Molecular Weight Analysis):** Mengukur berat molekul polimer untuk memahami distribusi berat molekul dan sifat viskoelastik.
- 4. Analisis Morfologi:**
 - a. Mikroskopi Elektron (SEM) dan Mikroskopi Cahaya (OM):** Digunakan untuk memeriksa morfologi permukaan dan struktur dalam skala mikroskopis.
 - b. Analisis Difraksi Sinar-X (XRD):** Memberikan informasi tentang struktur kristalin polimer.
- 5. Analisis Mekanis:**
 - a. Uji Tarik (Tensile Testing):** Mengukur kekuatan tarik, pemanjangan, dan modulus elastisitas polimer.
 - b. Uji Impak (Impact Testing):** Mengukur ketangguhan polimer terhadap pukulan.
 - c. Uji Kekerasan (Hardness Testing):** Mengukur resistensi polimer terhadap penetrasi atau deformasi permanen.
- 6. Analisis Reologi:**
 - a. Uji Aliran (Flow Testing):** Mengukur sifat aliran dan viskositas polimer.
 - b. Uji Dinamis Mekanis (Dynamic Mechanical Analysis, DMA):** Mengukur respons mekanis polimer terhadap gaya dinamis dan suhu.
- 7. Analisis Stabilitas:**
 - a. Uji Kestabilan Oksidatif:** Memeriksa ketahanan polimer terhadap degradasi oksidatif.
 - b. Uji Radiasi:** Mengukur resistensi terhadap radiasi ion atau sinar UV.
- 8. Analisis Biodegradasi:**

Uji Biodegradasi: Mengukur kemampuan polimer untuk diuraikan oleh mikroorganisme dalam lingkungan tertentu.
- 9. Analisis Pengembangan Produk:**

Analisis Kinerja Aplikasi: Memahami bagaimana polimer berperilaku dalam konteks aplikasi spesifiknya.

Analisis karakterisasi polimer seringkali melibatkan kombinasi beberapa metode untuk memberikan pemahaman menyeluruh tentang sifat polimer (Muliawati *et al.*, 2017, 2019;

Cahya Muliawati, Yustia and Mirzayanti, 2021). Hasil dari analisis ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan formulasi polimer, memperbaiki kinerja produk, dan memastikan kepatuhan terhadap standar kualitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahya Muliawati, E., Yustia, D. and Mirzayanti, W. 2021. 'Membran Polieugenol Tersulfonasi (PET) sebagai Potensi Sel Bahan Bakar Metanol Langsung', *Journal of Research and Technology*, 7(2), pp. 247–256.
- Muliawati, E.C. *et al.* 2017. 'Membran campuran daripada poli(eugenol sulfonat) dan polieterimida sulfonat yang menjanjikan untuk sel bahan api metanol langsung', *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 21(3), pp. 659–668. Available at: <https://doi.org/10.17576/mjas-2017-2103-15>.
- Muliawati, E.C. *et al.* 2019. 'Sulfonated PEI membrane with GPTMS-TiO₂ as a filler for potential direct methanol fuel cell (DMFC) applications', *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(4), pp. 555–560. Available at: <https://doi.org/10.11113/mjfas.v15n4.1216>.

BAB 6

KARBOHIDRAT, LIPID, DAN PROTEIN

Oleh Muawanah

6.1 Pendahuluan

Ada beberapa prekursor molekul yang sangat penting bagi molekul yang terdapat di lingkungan alam. Biomolekul secara garis besar dibagi dalam dua golongan yaitu makromolekul dan mikromolekul. Mikromolekul akan menjadi metabolit atau monomer makromolekul (Gajera et al., 2008). Makromolekul merupakan kelompok senyawa organik memegang peranan penting dalam hal ikhwal makhluk hidup terutama manusia. Ada 4 golongan inti biomolekul adalah karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat. Manfaat senyawa biomolekul secara umum adalah karbohidrat dan lipid berfungsi sebagai sumber energi dan pembentuk struktur, protein sebagai biokatalisator, dan asam nukleat sebagai pembentuk informasi genetik. Biomolekul memiliki berat molekul tinggi (≥ 1000 dalton) sehingga sangat mirip golongan polimer (Syukri dkk., 2022).

Banyak molekul biologis merupakan makromolekul, polimer dengan berat molekul tinggi yang dirangkai dari prekursor yang relatif sederhana, Protein, asam nukleat, dan karbohidrat dihasilkan melalui polimerisasi senyawa yang relatif kecil, dengan berat molekul sekitar kurang lebih 500. Jumlah unit terpolimerisasi dapat bervariasi dari puluhan hingga jutaan. Sintesis makromolekul adalah aktivitas sel yang memerlukan banyak energi (Nelson & Cox, 1970)

6.2 Karbohidrat

6.2.1 Pengertian

Karbohidrat adalah kelompok senyawa makromolekul yang terdiri dari gula, pati, dan selulosa, serta bahan lain yang ditemukan di dinding sel makhluk hidup lainnya. Karbohidrat pada umumnya mengandung atom C-C monomer yang memiliki

gugus C=O dan OH. Karbohidrat biasa juga disebut sakarida yang berasal dari bahasa Latin *saccharum*= gula yang memiliki nama akhiran “ose” seperti *glucose* atau gula (Gajera et al., 2008).

Karbohidrat terdiri dari salah satu kelompok utama biomolekul yang terjadi secara alami. Hal ini terutama karena adanya perubahan energi cahaya matahari menjadi energi kimia oleh tanaman melalui produksi primer dan ditransfer menjadi gula dan turunan karbohidrat. Bahan kering tumbuhan tersusun dari 50 – 80% karbohidrat. Bahan struktural pada tumbuhan sebagian besar adalah selulosa dan hemiselulosa. Pati adalah karbohidrat sebagai penyimpanan cadangan makanan pada tumbuhan seperti akar, batang, dan biji. Pektin dan gula seperti sukrosa dan glukosa juga unsur tumbuhan. Banyak molekul organik non karbohidrat ditemukan terkonjugasi dengan gula dalam bentuk glikosida (Gajera, et al., 2008). Penyimpanan energi untuk makhluk hidup seperti manusia maupun hewan adalah bentuk glikogen. Glikogen terdapat pada hati dan otot. Selain itu, karbohidrat bentuk polisakarida banyak juga terdapat pada dinding sel tumbuhan maupun hewan (Yadnya, dkk. 2016).

Pada proses fotosintesis, tanaman dan mikroorganisme bisa mensintesis karbohidrat dari CO₂ dan air, mereduksi CO₂ dengan mengeluarkan energi yang disediakan oleh ATP dan NADPH yang diperoleh dari proses fotosintesis tersebut yang bergantung pada cahaya. Sumber atom karbon dalam proses biosintesis selulosa dan pati, lipid dan protein, dan banyak komponen organik sel tumbuhan lainnya menggunakan CO₂. Tumbuhan yang berklorofil mengandung kloroplas sebagai enzim untuk mengkatalisis konversi CO₂ menjadi senyawa organik sederhana (tereduksi) yang disebut asimilasi CO₂. Dalam proses ini juga terjadi fiksasi CO₂ atau fiksasi karbon (Nelson & Cox, 1970).

6.2.2 Fungsi Karbohidrat

Karbohidrat adalah biomolekul paling melimpah di dunia, dan memiliki beberapa fungsi yaitu:

1. Karbohidrat merupakan sumber makanan paling kaya energi (4 Kal/g) untuk hewan, manusia, maupun tumbuhan.

- Karbohidrat menghasilkan energi terutama dalam bentuk glukosa dan diperoleh dengan cepat untuk digunakan oleh tubuh dibandingkan dengan protein dan lemak dimana harus dikonversi terlebih dahulu menjadi karbohidrat.
2. Karbohidrat sebagai prekursor bagi senyawa organik (lemak, asam amino)
Energi merupakan hal penting yang dibutuhkan oleh makhluk hidup setiap saat karena selalu melakukan aktivitas gerak sehingga memerlukan kekuatan atau energi. Karbohidrat berperan sebagai regulator dalam proses metabolisme lemak seperti terjadinya keadaan penurunan kadar gula, maka energi akan diperoleh dari hasil oksidasi lemak. Selain itu, karbohidrat juga dapat menghemat fungsi protein, apabila persediaan karbohidrat terpenuhi maka yang bertindak sebagai zat pembangun adalah protein.
 3. Glikoprotein dan glikolipid merupakan salah satu golongan dari karbohidrat dalam struktur sel membran dan fungsi seluler seperti sel pertumbuhan, adhesi dan pembuahan.
 4. Karbohidrat merupakan komponen struktural dari banyak organisme termasuk serat selulosa dari tumbuhan, dan sel dinding mikroorganisme.
 5. Karbohidrat juga berfungsi sebagai penyimpan bentuk energi (glikogen) untuk memenuhi kebutuhan energi tubuh (Satyanarayana & Chakrapani, 2013).

6.2.3 Klasifikasi Karbohidrat

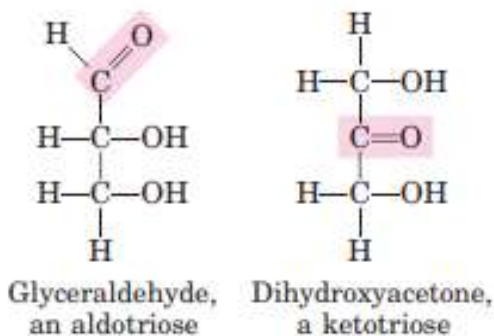
Karbohidrat secara umum diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama berdasarkan jumlah unit gula. Karbohidrat golongan monosakarida dan oligosakarida memberikan rasa manis pada makanan, berbentuk kristal dan polar. Selain itu, golongan ini memiliki tingkat kemanisan yang tinggi dan disebut dengan gula (Satyanarayana & Chakrapani, 2013).

Monosakarida

Monosakarida adalah gula yang tidak dapat dihidrolisis menjadi karbohidrat sederhana. Monosakarida memiliki rumus umum $C_n(H_2O)_n$ dan memiliki tatanama berdasarkan gugus fungsional dan letak gugus hidroksil penyusunnya. Monosakarida

seperti triosa (3 karbon), tetrosa (4 karbon), pentosa (5 karbon), heksosa (6 karbon), dan heptosa (7 karbon) adalah monosakarida berdasarkan jumlah atom karbon, sedangkan monosakarida yang berdasarkan atom tersebut mempunyai aldehida atau keton. Selain aldehida dan keton, alkohol polihidrat (gula alkohol atau polio) yang gugus aldehida atau ketonnya telah direduksi menjadi gugus alkohol, dan terdapat secara alami pada tanaman. (Murray et al., 2009).

Monosakarida terdiri dari dua senyawa sangat kompleks yaitu gliseraldehida dan dihidroksiaseton. Gliseraldehida atau aldotriosa adalah senyawa yang memiliki tiga atom karbon dan gugus aldehida, sedangkan dihidroksiaseton disebut ketotriosa yaitu senyawa tiga atom karbon dan mempunyai gugus keton (Poedjiadi & Supriyanti, 2006).

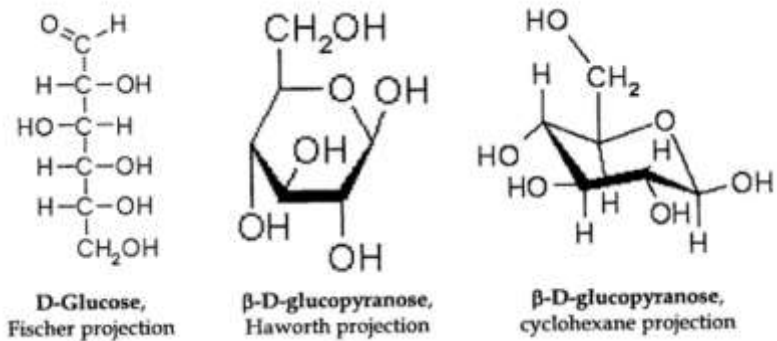


Gambar 6.1. Gliseraldehida dan Dihidroksiaseton
(Sumber: Poedjiadi & Supriyanti, 2006)

Monosakarida yang memiliki satu gugus aldehid seperti glukosa, sedangkan yang memiliki gugus keton seperti fruktosa. Monosakarida pada umumnya banyak terdapat dan paling berperan untuk proses pencernaan tubuh terdiri dari glukosa, fruktosa, dan galaktosa (Furkon, 2016).

Monosakarida adalah karbohidrat dengan molekul rendah dan tidak dapat dihidrolisis lagi, berbentuk kristal, mudah larut dalam air, rasanya manis. Monosakarida adalah bahan penyusun

gula yang lebih besar dan merupakan biokimia yang kompleks. Tatanama monosakarida untuk glukosa seperti pada Gambar 6.1.



Gambar 6.2. Tatanama Glukosa
(Sumber : Gajera, et al., 2008)

Jumlah enam karbon adalah heksosa, penomoran atom karbon dimana C1 adalah karbon karbonil dan C6 adalah karbon terjauh dari karbon tersebut. Jenis senyawa karbonil adalah aldosa karena mengandung gugus aldehida (CHO). Gugus OH adalah terletak di sebelah kanan karbon kiral yang terjauh dari grup karbon terjauh dari grup CHO yaitu C5 dalam proyeksi Fischer maupun proyeksi Haworth menunjukkan bentuk glukosa. Selain itu bentuk cincin beranggota 6 dengan anomer OH (C1) pada sisi yang sama. Gugus CH₂OH pada C5 dan C6 adalah piranosa (Gajera et al., 2008).

Klasifikasi monosakarida dan rumus empirisnya berdasarkan gugus aldosa dan ketosa yang dimiliki terdapat pada tabel 6.1.

Tabel 6.1. Klasifikasi dari Monosakarida

Monosakarida Empiris)	(Formula	Aldosa	Ketosa
Triosa (C ₃ H ₆ O ₃)		Gliseraldehida	Dihidroksiaseton
Tetrosa (C ₄ H ₈ O ₄)		Eritrosa	Eritrulosa
Pentosa (C ₅ H ₁₀ O ₅)		Ribosa	Ribolosa
Heksosa (C ₆ H ₁₂ O ₆)		Glukosa	Fruktosa
Heptosa (C ₇ H ₁₄ O ₇)		Glukoheptosa	Sedoheptilosa

Sumber: Satyanarayana & Chakrapani, 2013

Glukosa adalah monosakarida yang dikenal dekstroza atau gula anggur sering ditemukan dalam buah-buahan, jagung serta madu. Senyawa ini adalah hasil utama dari hidrolisis karbohidrat kompleks untuk proses pencernaan tubuh yang biasanya terdapat dalam sistem peredaran darah. **Fruktosa** disebut dengan levulosa atau gula buah yang merupakan gula paling manis diantara jenis gula sederhana lainnya. Fruktosa terdapat pada makanan sebagai sumber glukosa dan sukrosa seperti madu dan buah-buahan. **Galaktosa** adalah gula dimana tidak terdapat di alam dalam bentuk bebas, namun sebelumnya harus melalui proses hidrolisis dari laktosa (gula dalam susu) (Furkon, 2016).

Oligosakarida

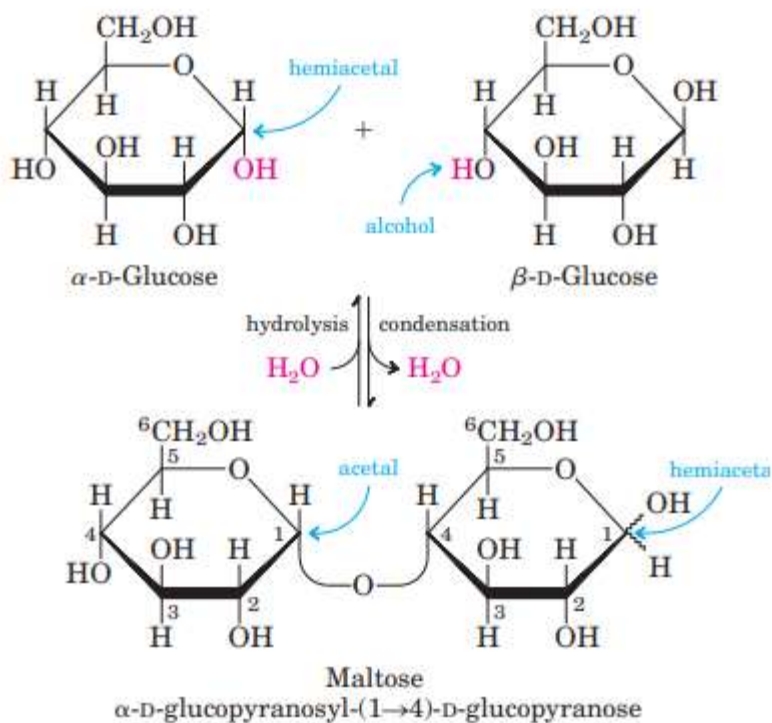
Oligosakarida merupakan jenis karbohidrat mengandung beberapa molekul monosakarida mulai dari 2 sampai 10 monosakarida. Disakarida terbentuk dari 2 monosakarida dengan melalui reaksi dehidrasi (dimana terjadi pengurangan 2 molekul air). Adapun oligosakarida yang memiliki 3 molekul monosakarida dikenal trisakarida, sedangkan 4 molekul disebut tetrasakarida (Syukri dkk., 2022).

Dalam proses ini, gabungan monosakarida berikatan secara kovalen oleh suatu ikatan O-glikosidik yang terbentuk ketika hidroksil gugus satu gula bereaksi dengan karbon anomerik yang lainnya. Reaksi ini mewakili pembentukan asetal dan hemiasetal

(glukopiranoose) dan alkohol (gugus hidroksil dari molekul kedua gula). Ikatan glikosidik adalah ikatan yang mudah terhidrolisis oleh asam tetapi tahan terhadap basa. Dengan demikian disakarida dapat dihidrolisis untuk menghasilkan bebasnya komponen monosakarida melalui pemanasan dengan asam asetat encer. ikatan N-Glikosil bergabung dengan karbon anomerik gula menjadi atom nitrogen dalam glikoprotein (Nelson & Cox, 1970).

Oligosakarida yang paling banyak terdapat di alam adalah golongan disakarida. Secara fisiologis disakarida yang berperan penting adalah maltosa, laktosa, trehalosa, dan sukrosa (Gejera et al., 2008). Hidrolisis sukrosa menghasilkan campuran glukosa dan fruktosa yang disebut dengan gula invert karena fruktosa mampu mempengaruhi gula yang lemah (Murray, et al., 2009).

Sukrosa adalah jenis gula yang berasal dari tebu maupun dari bit yang sering ditemukan dalam makanan.. Proses hidrolisis sukrosa akan terpecah dan diperoleh glukosa dan fruktosa. Molekul sukrosa terdiri ikatan antara α -D-Glukosa dan β -D-fruktosa dihubungkan dengan asetal. Karena kedua gugus karbonil yang potensial dalam sukrosa terikat dengan asetal sehingga tidak menunjukkan reaksi khas senyawa karbonil. Untuk kedua atom tersebut mempunyai gugus OH-glikosidik sebagai gugus aldehida pada glukosa dan gugus keton pada fruktosa. **Laktosa** merupakan hasil hidrolisis yang terpecah menjadi D-Galaktosa dan D-Glukosa. Ikatan tersebut terjadi antara atom karbon pertama pada galaktosa dan atom karbon empat pada glukosa dengan gugus OH glikosidik. **Maltosa** adalah susu disakarida yang terbentuk dari dua molekul glukosa. ikatan yang terbentuk adalah atom karbon nomor 1 dan atom karbon nomor 4 sehingga maltosa mempunyai gugus-OH glikosidik dan mampu mereduksi. Maltosa memiliki tingkat kemanisan yang lebih tinggi daripada laktosa, namun rendah dibandingkan dengan sukrosa (Poedjiadi & Supriyanti, 2006).



Gambar 6.3. Formasi Maltosa
(Sumber : Nelson & Cox, 1970)

Polisakarida

Molekul polisakarida merupakan kelompok senyawa yang terbentuk dan memiliki lebih dari 10 molekul glukosa. Pembentukan molekul polisakarida disusun oleh gabungan sekelompok jenis monosakarida dengan bentuk rantai baik rantai lurus maupun bercabang. (Syukri, et al., 2022). Sebagian besar karbohidrat bentuk polisakarida yang banyak ditemukan di alam dengan berat molekul yang sedang hingga tinggi. Polisakarida juga disebut glikan, berbeda satu sama lainnya berbeda dalam identitas monosakarida, panjang rantai, jenis ikatan yang menghubungkan unit-unit dan tingkat percabangan (Nelson & Cox, 1970).

Polisakarida terdiri dari 2 bentuk yaitu homopolisakarida dan heteropolisakarida. Homopolisakarida memiliki 1 jenis

monomer sedangkan heteropolisakarida mempunyai 2 atau lebih yang berbeda jenisnya. Beberapa homopolisakarida berfungsi sebagai penyimpanan monosakarida yang digunakan sebagai bahan bakar (pati dan glikogen), sebagai sumber energi (pati, dekstrin, glikogen, fruktan), dan polisakarida yang mengandung glukosa sebagai energi diperoleh dari makanan, serta sebagai penguat struktur (selulosa, ligan, hemiselulosa, pektin) (Furkon, 2016).

Pati adalah polisakarida yang berfungsi sebagai penyimpan energi pada tumbuhan. Bentuk pati terdiri dari dua jenis yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer monosakarida dengan rantai lurus dan berikatan dengan α -(1,4)-D-glukosa, sedangkan amilopektin memiliki ikatan rantai cabang dengan ikatan α -(1,6)-D-glukosa. Kedua bentuk tersebut banyak terdapat pada produk serelia, umbi-umbian, dan kacang-kacangan dimana kontribusi amilosa sebesar 15-20 % dan amilopektin 80-85 %. **Glikogen** merupakan penyimpanan karbohidrat pada hewan yaitu organ hati dan jaringan otot yang merupakan polimer monosakarida terdiri dari ikatan rantai cabang dan memiliki kandungan glukosa yang berfungsi sebagai sumber energi. **Dekstrin** merupakan hasil hidrolisis pati menjadi maltose dan kemudian menjadi glukosa. Sifat dari dekstrin adalah mudah larut dan lebih manis dari pati biasa. **Selulosa** merupakan bahan organik yang banyak ditemukan di alam. Selulosa terdapat dalam tumbuhan sebagai bahan pembentuk dinding sel. Hal ini terbentuk karena serat kapas (98%) pada tumbuhan tingkat tinggi dan 80% untuk tumbuhan tingkat rendah. Selulosa terdiri atas dua molekul glukosa yang berikatan glikosidik antara atom karbon 1 dengan atom karbon 4 (Gajera et al., 2008).

6.3 LIPID

6.3.1 Pengertian Lipid

Lipid merupakan zat makanan yang penting untuk menjaga kesehatan tubuh manusia. Selain itu juga merupakan sumber energy yang lebih efektif disbanding dengan karbohidrat dan protein. Satu gram lemak atau lipid dapat menghasilkan 9 kkal/gram sedangkan karbohidrat dan protein hanya menghasilkan 4 kkal/gram. Lemak terdapat pada hamper semua bahan pangan dengan kandungan

yang berbeda-beda. Tetapi sering digunakan atau ditambahkan dengan sengaja ke bahan makanan dengan berbagai tujuan. Dalam pengolahan bahan makanan, lemak dapat berfungsi sebagai media penghantar panas, menambah kalori, serta memperbaiki cita rasa dan tekstur bahan pangan (Winarno, 2002).

Lipid adalah sekelompok senyawa heterogen, termasuk lemak, minyak, steroid, lilin, dan senyawa yang lain yang lebih banyak berkaitan dengan ikatan fisiknya daripada ikatan kimianya. Sifat umum dari lipid yaitu relatif larut dalam air dan larut dalam pelarut nonpolar seperti kloroform dan eter. Kombinasi lipid dan protein (lipoprotein) berfungsi sebagai alat transportasi lipid dalam darah (Murray et al., 2009).

Lipid berasal dari bahasa Yunani '*Lipos = lemak*' yang sangat penting bagi tubuh terutama sebagai penyimpanan energi dan dalam struktur sel serta fungsi biokimia lainnya. Lipid merupakan zat organik yang berkaitan dengan asam lemak dan dimanfaatkan oleh sel-sel hidup. Lipid tidak sama dengan karbohidrat, protein, dan asam nukleat, karena senyawa tersebut non polimer dan sebagian besar merupakan molekul kecil (Satyanarayana & Chakrapani, 2013).

Lemak dan minyak merupakan salah satu golongan LIPID. Lemak atau minyak adalah ester asam lemak dan gliserol. Gliserol ialah suatu trihidroksida alkohol yang terdiri dari 3 atom karbon, yang pada masing-masing atom karbon mengikat gugus -OH. Pada lemak, satu molekul gliserol mengikat 3 molekul asam lemak. Oleh karena itu lemak disebut juga Trigliserida (Mardiyah, dkk. 2019).

6.3.2 Klasifikasi Lipid

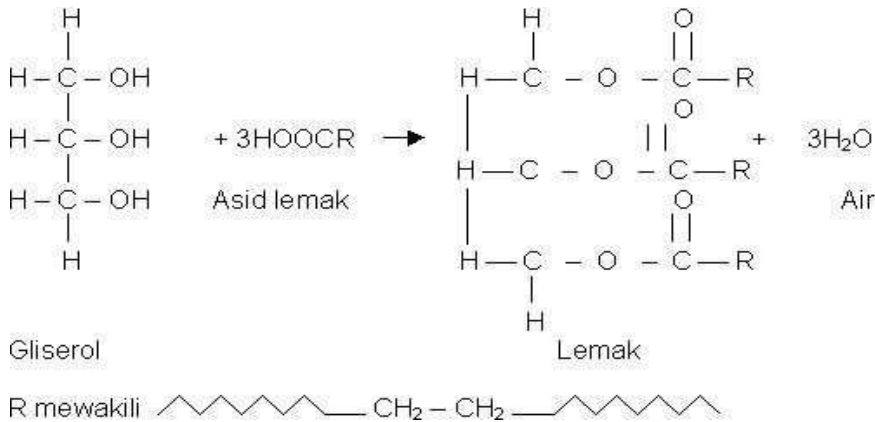
Lipid dapat diklasifikasikan secara luas (dimodifikasi oleh Bloor) menjadi senyawa kompleks dan sederhana, turunan lipid, dan lain-lain yang dibagi dalam kelompok yang berbeda-beda yaitu:

1. Lipid sederhana: ester asam lemak dengan alkohol, terdiri dari dua jenis yaitu:
 - a. Lemak dan minyak (triasilgliserol) yang merupakan ester asam lemak dengan gliserol. Perbedaan antara

lemak dan minyak berdasarkan dari sifat fisik minyak berbentuk cair dan lemak berbentuk padat pada suhu ruangan.

- b. Lilin: ester asam lemak (biasanya rantai panjang) dengan alkohol selain gliserin. Alkohol ini bersifat alifatik atau alisiklik. Setil alkohol adalah senyawa yang paling banyak ditemukan pada lilin. Lilin adalah untuk persiapan pembuatan lilin, pelumas, kosmetik, salep, dan lain-lain.
2. Lipid kompleks: ester asam lemak yang mengandung alkohol dengan komponen lain seperti fosfat, basa nitrogen, protein, karbohidrat, dan lain-lain.
 - a. Fosfolipid: mengandung asam fosfor dan seringkali basa nitrogen). . , dengan penambahan alkohol dan asam lemak.
 - 1) Gliserofosfolipid: fosfolipid mengandung gliserol sebagai alkohol misalnyan lesitin dan sefalin.
 - 2) Spingofosfolipid: alkohol dalam kelompok fosfolipid misalnya sphingomeylin.
 - b. Glikolipid: lipid ini mengandung asam lemak, karbohidrat, dan basa nitrogen. Alkoholnya adalah sphingosine sehingga disebut glikospingolipid. Apabila gliserol dan fosfat terdapat pada serebrosida dan gangliosida.
 - c. Lipoprotein adalah makromolekul kompleks (molekul lemak yang berikatan dengan protein).
 - d. Lipid kompleks lainnya: sulfolipid, lipid amino, dan lipopolisakarida.
3. Lipid turunan: adalah turunannya diperoleh dari hasil hidrolisis golongan 1 dengan golongan 2 yang memiliki karakteristik lemak. Ini termasuk gliserol dan alkohol lainnya, seperti asam lemak, monogliaserol, diasilgliserol, vitamin larut dalam lemak, hormone steroid, dan hidrokarbon.
4. Lipid lain-lain: termasuk senyawa yang memiliki karakteristik lipid misalnya karotenoid, hidrokarbon squalen seperti pentacosane (dalam lilin lebah), terpen, dan lain-lain.

5. Lipid netral adalah lipid yang tidak bermuatan seperti mono-, di-, dan triasilgliserol, kolesterol, dan kolesterol ester (Satyanarayana & Chakrapani, 2013).



Gambar 6.4. Pembentukan Lemak

(Sumber : Syukri dkk., 2022)

Asam lemak di alam terbagi menjadi dua golongan yaitu:

1. Asam lemak jenuh: yaitu asam lemak yang berdasarkan asam asetat dan tidak mempunyai ikatan rangkap, contoh asam palmitat, asam stearate, dan asam kaprat. Sebagian besar sumbernya at. Sebagian besar sumbernya pada lemak hewani.
2. Asam lemak tidak jenuh: yaitu asam lemak yang mempunyai satu atau lebih ikatan rangkap. Contoh asam oleat, asam linoleat, dan asam linolenat. Sumber minyak nabati pada biji-bijian atau kacang-kacangan (Murray et al., 2009).

6.3.3 Fungsi Lipid

Lipid melakukan beberapa fungsi penting yaitu :

1. Lipid merupakan cadangan bahan bakar yang terpusat dalam tubuh (triasilgliserol)
2. Lipid merupakan penyusun membran permeabilitas (fosfolipid dan kolesterol)
3. Lipid berfungsi sebagai sumber vitamin yang larut dalam lemak (A, D, E, dan K)

4. Lipid penting sebagai pengatur dalam proses metabolisme dalam sel (hormon steroid dan prostaglandin) (Satyanarayana & Chakrapani, 2013).

6.3.4 Sifat Lipid

Sifat Fisika Lipid

1. Lipid tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut organik
2. Triasilgliserol murni tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, dan netral
3. Mempunyai densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan air sehingga dapat mengapung dalam air
4. Meskipun lemak tidak larut dalam air, namun dapat terurai dan tersebar dalam air beberapa menit yang disebut dengan proses emulsifikasi
5. e. Mengandung partikel koloid hidrofilik seperti protein, karbohidrat, dan fosfolipid, yang bertindak sebagai zat penstabil
6. Emulsifikasi sangat meningkatkan luas permukaan lemak yang membantu dalam proses pencernaan (Gajera et al., 2008).

Sifat Kimia Lipid

1. Hidrolisis lemak menghasilkan tiga molekul asam lemak dan satu molekul gliserol. Hidrolisis lemak dipengaruhi oleh alkali dan enzim
2. Proses hidrolisis alkali disebut saponifikasi
3. Garam alkali dari asam lemak hasil saponifikasi adalah sabun
4. Hidrolisis triasilgliserol dapat dilakukan secara enzimatis melalui aksi lipase
5. Timbulnya bau rasa yang tidak enak pada lemak atau minyak setelah disimpan disebut ketengikan. Reaksi ketengikan disebut oleh hidrolisis ikatan ester (ketengikan hidrolitik) atau karena oksidasi lemak tak jenuh (ketengikan oksidatif)

6. Hidrolisis parsial triasilgliserol menjadi mono dan diasilgliserol disebut ketengikan hidrolitik. Hidrolisis dipercepat dengan adanya kelembaban, kehangatan dan lipase yang ada dalam lemak. Dalam lemak seperti mentega yang mengandung persentase tinggi asam lemak volatil, hidrolitik ketengikan menghasilkan bau dan rasa yang tidak menyenangkan karena pelepasan asam butirat yang mudah menguap. Mentega lebih mudah tengik di musim panas
7. Asam lemak tak jenuh dioksidasi pada ikatan rangkap dan terbentuk peroksida yang kemudian terurai menjadi aldehida dan asam, rasa bau yang tidak menyenangkan (ketengikan oksidatif) (Satyanarayana & Chakrapani, 2013).

6.4 Protein

6.4.1 Pengertian Protein

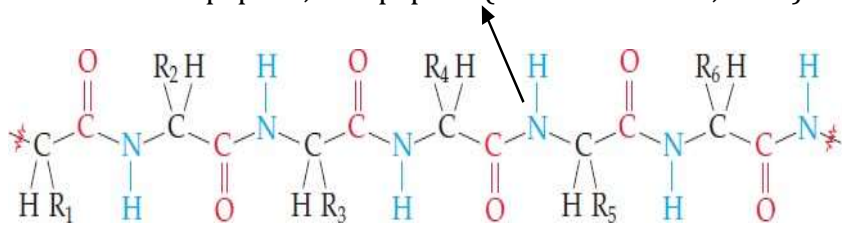
Protein merupakan makromolekul yang berperan penting dalam proses biologi. Protein berfungsi dalam tubuh antara lain membantu perkembangan sel dan memelihara pertahanan tubuh. Selain itu, protein juga berperan sebagai zat pembangun dan pembentuk struktur sel, seperti pembentukan kulit, otot, rambut, membran sel jantung, hati, ginjal, dan beberapa organ penting lainnya (Yuliani, 2018).

Selain air, protein adalah komponen penyusun tubuh terbesar, dimana kandungan air menyusun 63%, lemak 13%, mineral 6%, dan lainnya 1%. Protein memiliki fungsi yang khas tidak bisa digantikan oleh zat gizi lain yaitu sebagai zat pembangun dan pemelihara sel-sel jaringan tubuh (Furkon, 2016).

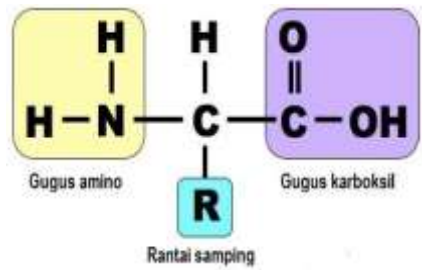
Protein (*protos* yang berarti "paling utama") adalah senyawa organik kompleks yang mempunyai bobot molekul tinggi dan sebagai polimer dari monomer-monomer asam amino (Yadnya, dkk. 2016). Protein adalah sumber asam amino yang mengandung unsur-unsur karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), dan Nitrogen (N). Selain itu, molekul protein juga mengandung fosfor, belerang, serta unsur logam seperti besi dan tembaga (Winarno, 2002).

Secara kimiawi, asam-asam amino terikat satu sama lain melalui ikatan peptida yaitu ikatan antara gugus karboksil ($-\text{COOH}$) asam amino yang satu dengan gugus amina ($-\text{NH}_2$) dari asam amino

yang lain dengan melepaskan satu molekul air, dan rantai samping (R). Peptida yang terbentuk atas dua asam amino disebut dipeptida, sedangkan peptida yang terdiri atas tiga, empat, atau lebih asam amino disebut tripeptida, tetrapeptida. (Yazid & Nursanti, 2006).



(a) Ikatan Peptida



(b) Struktur Primer Protein

Gambar 6.4. (a) Struktur Asam Amino (b) Struktur Primer Protein
(Sumber : Yazid & Nursanti, 2006)

Berdasarkan pandangan senyawa makromolekul, protein mempunyai 4 jenis struktur yaitu struktur primer, sekunder, tersier, dan kuartener. Struktur primer adalah struktur paling dasar terdiri atas asam amino yang saling berikatan membentuk rantai panjang polipeptida. Struktur sekunder adalah tata ruang susunan protein dengan putaran rantai polipeptida karena adanya pengaruh ikatan hidrogen. Struktur tersier terbentuk adanya struktur fungsional protein tiga dimensi karena adanya pengaruh ikatan hidrogen ditambah dengan adanya interaksi antara ionik dari gugus (-R) dari asam amino penyusun rantai peptida. Struktur kuartener merupakan struktur paling kompleks karena terdiri dari beberapa dua atau lebih rantai polipeptida dan terjadi interaksi untuk seluruh asam amino dari suatu senyawa protein (Syukri dkk., 2022).

6.4.2 Klasifikasi Protein

Ada berbagai cara untuk mengklasifikasikan asam amino yaitu berdasarkan struktur kimianya, keterikatan dengan senyawa lain. Kelarutan, kebutuhan nutrisi, metabolisme, dan lain-lain.

Klasifikasi Asam Amino berdasarkan struktur susunan molekul :

1. Asam amino dengan rantai samping alifatik
Golongan ini merupakan monoamino asam karboksilat yang terdiri dari paling banyak asam amino sederhana yaitu glisin, alanin, valin, leusin, dan isoleusin. Tiga asam amino yang terakhir (leu, ile, val) mengandung rantai samping alifatik bercabang sehingga mereka disebut sebagai asam amino rantai bercabang.
2. Asam amino yang mengandung gugus hidroksil yaitu serin, treonin, dan tirosin. Tirosin biasanya bersifat aromatik sehingga disebut asam amino aromatik.
3. Asam amino mengandung belerang
Sistein dengan gugus sulfhidril dan metionin dengan gugus tioeter adalah dua asam amino yang digunakan selama sintesis protein. Sistin adalah asam amino yang mengandung belerang dibentuk oleh kondensasi dua molekul sistein
4. Asam amino dengan asam amidanya
Asam aspartat dan glutamat merupakan asam monoamino dikarboksilat sedangkan asparagin dan glutamin adalah masing-masing turunan amidanya. Semua ini merupakan empat asam amino memiliki kodon yang berbeda untuk penggabungannya dalam protein
5. Asam amino basa yaitu lisin, arginin (dengan gugus guanidino dan histidin (dengan cincin imidazol) adalah asam monokarboksilat basa. Mereka mempunyai sifat yang sangat mendasar
6. Asam amino aromatik seperti fenilalanin, tirosin, dan triptofan (dengan cincin indol) merupakan asam amino aromatik.
7. Asam imino yaitu prolin yang mengandung cincin pirolidin merupakan asam amino yang unik dengan memiliki gugus imino (NH) bukan amino (NH₂) seperti ditemukan dalam kelompok amino lainnya.

Klasifikasi Asam Amino berdasarkan polaritas

Asam amino diklasifikasikan menjadi 4 kelompok berdasarkan kepolarannya. Polaritas adalah salah satu hal yang penting dalam struktur protein

1. Asam amino non polar
Asam amino ini juga disebut dengan hidrofobik atau tidak mudah larut dalam air. Asam amino yang termasuk dalam kelompok ini adalah alanin, isoleusin, leusin, valin, metionin, fenil alanin, triptofan, dan prolin.
2. Asam amino polar tanpa muatan dengan rantai samping R
Asam amino ini mengandung gugus hidroksil, sulfhidril, dan amida yang berpartisipasi dalam ikatan hidrogen pada struktur protein. Kelompok ini merupakan asam amino sederhana ($R=H$) seperti glisin, serin, treonin, sistein, glutamin, asparagin, dan tirosin.
3. Asam amino polar dengan gugus R positif
Yang termasuk kelompok ini adalah asam amino lisin, arginin, dan histidin
4. Asam amino dengan gugus R negatif
Yang termasuk kelompok ini adalah asam monoamino dikarboksilat seperti asam aspartat dan asam glutamat.

Klasifikasi Asam Amino berdasarkan polaritas

Ada 20 asam amino yang diperlukan untuk sintesis berbagai protein. Akan tetapi ada sebagian yang tidak dikonsumsi. Berdasarkan pada kebutuhan nutrisi, asam amino dikelompokkan terdiri atas esensial dan non esensial.

1. Asam amino esensial: asam amino yang tidak bisa disintesis oleh tubuh sehingga perlu diperoleh melalui makanan. Mereka diperlukan untuk pertumbuhan dan pemeliharaan tubuh. Ada sepuluh jenis yang penting untuk manusia yaitu arginin, valin, histidin, isoleusin, leusin, lisin, metionin, fenilalanin, treonin, triptofan.
2. Asam amino non esensial: asam amino yang dapat disintesis oleh tubuh. Kelompok ini terdiri 10 jenis yang diperlukan oleh tubuh dalam memenuhi kebutuhan biologis yaitu glisin

alanin, serin, sistein, aspartat, glutamat, glutamin, tirosin, dan prolin.

Klasifikasi Asam Amino berdasarkan fungsi metabolisme

Kerangka karbon dari asam amino dapat berfungsi sebagai prekursor untuk sintesis glukosa (glikogenik) atau lemak (ketogenik) dan atau keduanya. Dari sudut pandang metabolisme, golongan ini dibagi menjadi tiga kelompok yaitu:

1. Asam amino glikogenik
Asam amino ini berfungsi sebagai prekursor untuk pembentukan glukosa atau glikogen, misalnya alanin, aspartat, glisin, metionin, dan lain-lain.
2. Asam amino ketogenik
Asam amino ini menghasilkan berupa lemak, dimana ada dua asam amino leusin dan lisin adalah kelompok tersebut.
3. Asam amino glikogenik dan ketogenik
Ada empat jenis yang termasuk kelompok ini yaitu isoleusin, fenil alanin, triptofan dan tirosin merupakan prekursor awal untuk sintesis glukosa bagi orang yang diet (Satyanarayana & Chakrapani, 2013).

6.4.3 Sifat Protein

Sifat Fisika Protein

1. Asam amino adalah zat berbentuk kristal putih kebanyakan asam amino larut dalam air dan tidak larut dalam pelarut organik non polar misalnya kloroform dan eter
2. Asam amino alifatik dan aromatik terutama yang mempunyai beberapa atom karbon dengan kelarutan terbatas dalam air tetapi mudah larut dalam pelarut organik yang polar
3. Memiliki titik leleh yang tinggi berkisar antara 200 – 300° C atau bahkan lebih
4. Tidak berasa, manis, atau pahit beberapa asam amino memiliki rasa yang enak
5. Sifat asam amino amfoter Karen amengandung asam (COOH) dan kelompok dasar (NH₂). Asam amino yang

mempunyai sifat positif dan muatan negatif disebut Zwitterion

6. Isomerisme. Semua asam amino kecuali prolin ditemukan dalam protein adalah α -asam amino karena gugus (NH_2) terikat pada atom karbon α yang selanjutnya ke gugus COOH . Pemeriksaan struktur asam amino mengungkapkan bahwa semua asam amino lainnya memiliki atom karbon simetris kecuali glisin (Gajera et al., 2008).

Sifat Kimia Protein

1. Reaksi dengan formaldehida (titrasi formal), larutan asam amino diberlakukan dengan kelebihan larutan formaldehida yang dinetralkan, gugus amino bergabung dengan formaldehida membentuk asam amino dimetilol yang merupakan asam amino formaldehida kompleks. Oleh karena itu gugus amino dilindungi oleh proton yang dilepaskan melalui titrasi dengan basa. Metode titrasi ini digunakan untuk mengetahui jumlah total asam amino bebas dalam sampel tumbuhan
2. Reaksi dengan asam nitrat. Asam nitrat bereaksi dengan gugus asam amino untuk membentuk asam hidroksi yang sesuai dan melepaskan gas nitrogen
3. Reaksi dengan ninhidrin. Ninhidrin adalah zat pengoksidasi kuat dimana ketika suatu larutan asam amino dipanaskan dengan ninhidrin akan diperoleh asam amino mengalami deaminasi oksidatif untuk menghasilkan amonia dan asam keto. Selanjutnya asam keton akan didekarboksilasi untuk menghasilkan aldehida dengan satu atom karbon hilang dari asam amino induk. Reaksi akhirnya adalah ninhidrin secara oksidatif mendeaminasi dan mendekarboksilasi α -asam amino menjadi CO_2 dan NH_3 serta aldehid. Ninhidrin tereduksi kemudian bereaksi dengan amonia yang dibebaskan dan molekul ninhidrin utuh lainnya menghasilkan warna ungu sehingga disebut senyawa ungu Ruhemann.
4. Reaksi ninhidrin digunakan untuk penentuan kuantitatif asam amino. Protein dan peptida yang mempunyai gugus

amino bebas (dalam rantai samping) juga akan memberikan reaksi warna dengan ninhidrin.

5. Dekarboksilasi. Gugus karboksil asam amino didekarboksilasi menjadi amina yang sesuai. Jadi hasilnya adalah histamin dihasilkan dari histidin. Histamin merangsang aliran getah lambung ke dalam perut dan pelebaran maupun penyempitan pembuluh darah tertentu. Reaksi berlebihan dari histamin menyebabkan gejala asma dan berbagai macam jenis alergi (Gajera et al., 2008).

6.4.4 Fungsi Protein

1. Protein sebagai biokatalisator

Ciri khas dari protein adalah kemampuan dalam sel hidup sebagai katalis yang disebut dengan biokatalisator. Enzim adalah golongan senyawa protein yang berperan sebagai biokatalisator. Hampir 2000 jenis enzim yang dikenal masing-masing mengkatalisis jenis reaksi yang berbeda.

2. Protein sebagai pengatur hormon

Kelompok ini merupakan protein yang memiliki konsentrasi yang lebih rendah, namun memegang peranan penting dalam mengatur reaksi metabolisme yang kompleks. Contoh hormon pertumbuhan insulin, dan lain-lain.

3. Protein sebagai pelindung

Beberapa protein memiliki fungsi pertahanan protektif. Protein ini bergabung dengan protein zat asing dengan zat lain serta melawan berbagai penyakit tertentu, contoh imunoglobulin. Protein ini diproduksi di sel limfatik sebagai respon terhadap zat asing yang disebut dengan antigen. Protein yang baru terbentuk adalah antibodi yang secara khusus berikatan dengan antigen yang memicunya sehingga mencegah perkembangan penyakit.

4. Protein sebagai penyimpanan makanan

Kelas utama yang berfungsi menyimpan asam amino sebagai nutrisi dan bahan pembangun jaringan

yang sedang tumbuh. Protein penyimpanan adalah sumber asam amino yang esensial yang tidak dapat disintesis oleh manusia. Contoh kacang-kacangan adalah globulin dan prolamin dalam sereal, sedangkan protein penyimpanan dalam beras adalah glutelin.

5. Protein sebagai pengangkut atau transportasi

Beberapa protein mampu mengikat dan mengangkut jeni molekul tertentu melalui darah. Hemoglobin adalah protein yng terkonjugasi dan terdiri dari protein dasar tidak berwarna, globin dan ferroprotoporphyrin yang memiliki kemampuan untuk mengikat oksigen dan mengangkutnya melalui darah ke berbagai jaringan.

Zat-zat gizi yang telah dicerna harus diangkut menuju sel-sel tubuh untuk dapat dimanfaatkan. Pengangkutan zat-zat gizi tersebut sebagian besar dilakukan oleh protein, seperti lipoprotein yang berperan dalam mengangkut lipid dan bahan-bahan sejenis lipid serta transferin yang berperan mengangkut zat besi dan mangan (Gajera et al., 2008).

DAFTAR PUSTAKA

- Furkon, L. A., 2016. *Modul Mengenai Zat Gizi*. Jakarta: Ilmu Kesehatan dan Gizi.
- Gajera, H. P., Patel, S. V., Golakiya, B. A. 2008. *Fundamentals of Biochemistry A Textbook*. India: Departement of Biochemistry College Agricultural. Junagadh Agricultural University.
- Mardiyah, dkk. 2019. *Petunjuk Praktikum Biokimia*. Surabaya: Laboratorium Kimia Kesehatan, Fakultas Ilmu Kesehatan. Universitas Muhammadiyah Surabaya.
- Murray, dkk. 2009. *Harper's Illustrated Biochemistry 28 TH Edition*. Toronto: The Mc-Graw Hill-Companies, Inc.
- Nelson, David. L & Cox, Michael. M. 1970. *Lehninger Principles of Biochemistry Fifth Edition*.
- Poedjiadi, A., Supriyanti, T. 2006. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Satyanarayana, U & Chakrapani. 2013. *Biochemistry*. India: A Division of Reed Elsevier India Pvt. Ltd.
- Syukri, D. dkk. 2002. *Buku Ajar Biokimia*, Sulteng: Penerbit CV. Feniks Muda Sejahtera.
- Winarno, F. G. 2022. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Yadnya, T. G. B. dkk. 2016. *Penuntun Praktikum Biokimia*. Denpasar: Fakultas Peternakan. Universitas Udayana.
- Yazid, E. & Nursanti, L. 2006. *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Yuliani, D. 2018. *Penuntun Praktikum Biokimia 1*. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

BAB 7

ASAM NUKLEAT DAN GENETIKA

Oleh Pra Dian Mariadi

Asam nukleat merupakan polimer biologis dengan bobot molekul tertinggi, berkisar antara 25.000 hingga 1.000.000 hingga 1 miliar, yang terdiri dari serangkaian nukleotida. Nukleotida, sebagai monomer mononukleotida, memainkan peran vital dalam metabolisme seluler. Setiap sel hidup memiliki asam nukleat yang bertanggung jawab untuk menyimpan dan mentransfer materi genetik. Fungsi ini melibatkan terjemahan formula atau informasi genetik, yang pada akhirnya menghasilkan sintesis protein yang unik untuk setiap sel.

Asam nukleat dibagi menjadi dua jenis utama: asam deoksiribonukleat (DNA) jika dibangun oleh unit deoksiribonukleotida, dan asam ribonukleat (RNA) jika terdiri dari unit ribonukleotida. Ilmuwan Friedrich Miescher (1844-1895) menjadi pelopor dalam pengetahuan kimia dan inti sel, menandai awal penelitian yang membawa penemuan asam nukleat sebagai materi genetik. Pada tahun 1868, di Laboratorium Hoppe-Syler di Tübingen, Friedrich mengisolasi sel dari nanah bekas pada pembalut luka. Selanjutnya, ia melarutkan sel-sel tersebut dalam asam encer untuk mendapatkan inti sel yang masih terikat pada beberapa protein. Dengan penambahan enzim pemecah protein, Friedrich berkonsentrasi pada inti sel dan menghasilkan apa yang kemudian disebut "nuclein", yang sekarang dikenal sebagai nucleoprotein. Zat ini larut dalam basa tetapi tidak dalam asam.

Yang telah diteliti lebih lanjut, asam nukleat terdiri dari banyak nukleotida dan digunakan untuk penyimpanan, transmisi, dan translasi informasi genetik; ini adalah senyawa yang membentuk sel dan jaringan umum. Nukleotida sendiri terdiri dari gugus fosfat, basa nitrogen, dan gula pentosa. Jika nukleotida dibuat dari ribosa, maka akan membentuk asam ribonukleat (RNA), yang berperan dalam sintesis protein. Sebaliknya, jika nukleotida

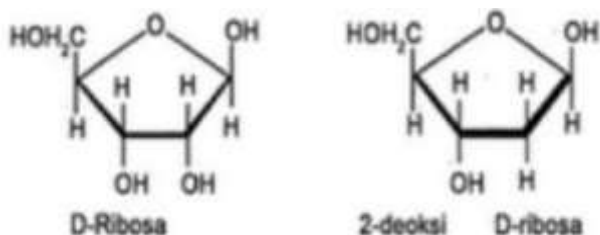
mengandung deoksiribosa, maka akan terbentuk asam deoksiribonukleat (DNA), yang merupakan komponen utama inti sel.

Asam nukleat memiliki empat basa nitrogen yang berbeda, yaitu dua purin (adenin dan guanin) dan dua pirimidin (sitoksin, timin, dan urasil). Adenin dan guanin selalu ada dalam RNA dan DNA, sementara pirimidin bervariasi: sitosin dan urasil untuk RNA, dan sitosin dan timin untuk DNA. (Umbu Henggu dan Nurdiansyah, 2022).

7.1 Komponen Penyusun Asam Nukleat

A. Gula Pentosa

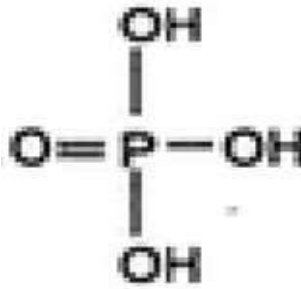
Gula pentosa penyusun asam nukleat adalah ribosa dan deoksiribosa. Apabila gula pentosa yang terikat adalah β -D-ribosa maka dihasilkan senyawa ribonukleosida sebagai penyusun RNA, sedangkan jika gula pentosa yang terikat adalah β -D-deoksiribosa maka senyawa yang dihasilkan adalah deoksiribosanukleosida sebagai penyusun DNA (Hanum, Galuh Ratmana, 2018).



Gambar 7.1. Gambar Gula Pentosa penyusun Asam Nukleat (Hanum, Galuh Ratmana, 2018).

B. Fosfat

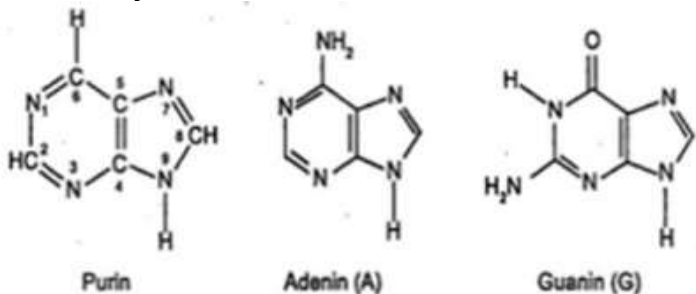
Asam nukleat dibentuk oleh fosfat, yang dapat berupa asam fosfat atau asam ortofosfat. Fosfat ini memiliki struktur kristal orto-rombik, bersifat tidak stabil, dan memiliki titik lebur pada suhu 42,35°C (Hanum, Galuh Ratmana, 2018).



Gambar 7.2. Struktur Fosfat (Hanum, Galuh Ratmana, 2018).

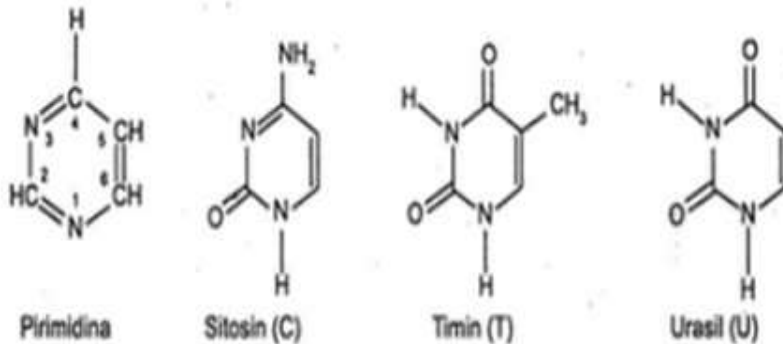
C. Basa Nitrogen

Basa nitrogen heterosiklik merupakan komponen pembentuk asam nukleat yang terdiri dari turunan purin dan turunan pirimidin. Turunan purin yang membentuk asam nukleat meliputi adenin (A) dan guanin (G). Adenin dan guanin hadir dalam jaringan hewan dan tumbuhan (Hanum, Galuh Ratmana, 2018).



Gambar 7.3. Struktur Turunan Purin (Hanum, Galuh Ratmana, 2018).

Turunan pirimidin penyusun asam nukleat adalah sitosin (C), timin (T) dan urasil (U) (Hanum, Galuh Ratmana, 2018).



Gambar 7.4. Struktur Turunan Pirimidin (Hanum, Galuh Ratmana, 2018).

7.2 Nukleotida Dan Nukleosida

Nukleosida, atau nukleotida, terletak pada gugus gula 5' dan membentuk ikatan ester dengan gugus fosfat. Nukleosida terdiri dari pentosa (deoksiribosa atau ribosa) yang terikat dengan glikosida pada basa (purin atau pirimidin). Dua jenis asam nukleat ada dalam sel: DNA (asam deoksiribonukleat atau asam deoksiribonukleat) dan RNA (asam ribonukleat atau asam ribonukleat). Baik DNA maupun RNA biasanya terikat pada protein karena memiliki sifat anion, seperti DNA yang terikat pada histon dalam inti sel. Nucleoprotein adalah gabungan protein dan asam nukleat. Meskipun mirip dengan protein, molekul asam nukleat terdiri dari nukleotida sebagai komponennya. Sebagai contoh, nukleotida asam nukleat bebas yang berfungsi sebagai pembawa energi adalah ATP (adenosine triphosphate) (Ischak, Netty Ino et al., 2017).

Tabel 7.1. Nukleosida Penyusun Asam Nukleat

Monomer Asam Nukleat	Nama Trivial	Nama sistematis
<i>Ribonukleosida</i>		
Ribosa + basa adenin	Adenosin	Adenin nukleosida
Ribosa + basa guanin	Guanosin	Guanin nukleosida
Ribosa + basa urasil	Uridin	urasil nukleosida
Ribosa + basa sitosin	Sitidin	Sitosin nukleosida
<i>Deoksiribonukleosida</i>		
Deoksiribosa+ basa adenin	Deoksi-adenosin	Deoksi-Adenin nukleosida
Deoksiribosa+ basa guanin	Deoksi-guanosin	Deoksi-Guanin nukleosida
Deoksiribosa + basa sitosin	Deoksi- sitidin	Deoksi- Sitosin nukleosida
Deoksiribosa + basa timin	Deoksi-timidin	Deoksi-Timin nukleosida

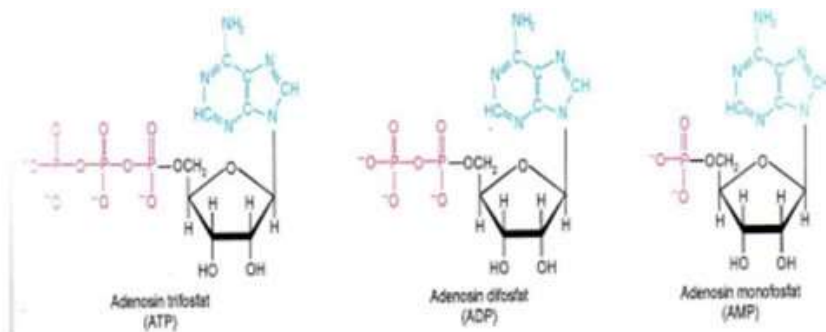
Nukleosida melakukan banyak hal dalam antibiotik, seperti puromisin, yang digunakan untuk membuat antibiotik dan mencegah pembentukan protein oleh bakteri Streptomyces. Jenis nukleosida lainnya, seperti arabinosil sitosin dan arabinosil adenin, juga digunakan sebagai anti-virus dan anti-jamur. Tabel 7.2 berisi contoh (Ischak, Netty Ino et al., 2017).

Tabel 7.2. Mononukleotida Penyusun Asam Nukleat DNA dan RNA (Ischak, Netty Ino et al, 2017).

Basa Nitrogen	Nama Ribonukleotida (RNA)	Nama deoksiribonukleotida (DNA)
Adenin (A)	Adenosin 5'-monofosfat (AMP)	Deoksi Adenosin 5'-monofosfat (dAMP)
Guanin (G)	Guanosin 5'-monofosfat (GMP)	Deoksi Guanosin 5'-monofosfat (dGMP)
Timin (T)	Sitidin 5'-monofosfat (CMP)	Deoksi Timidin 5'-monofosfat (dTMP)
Sitosin (C)	Uridin 5'-monofosfat (UMP)	Deoksi Sitidin 5'-monofosfat (dCMP)
Urasil (U)		

Nukleotida memainkan peran penting dalam mentransfer gugus fosfat untuk mengirimkan dan menerima energi. Adenosin 5' monofosfat (AMP), Adenosin 5'-difosfat (ADP), dan Adenosin 5'-

trifosfat (ATP) adalah beberapa contoh nukleotida yang berpartisipasi dalam proses ini. Transfer gugus fosfat sangat penting untuk menerima dan mengirimkan energi (Ischak, Netty Ino et al., 2017).



Gambar 7.5. Struktur AMP, ADP dan ATP (Ischak, Netty Ino et al., 2017).

Nukleotida juga berfungsi sebagai kurir sekunder untuk mengontrol metabolisme adrenalin. Salah satu contohnya adalah adenosin 3'-5'-siklik monofosfat (AMP siklik atau cAMP). Sebaliknya, nukleotida seperti guanosin siklik monofosfat (GMP siklik = cGMP) bertindak sebagai penghambat enzim dalam proses regulasi biologis.

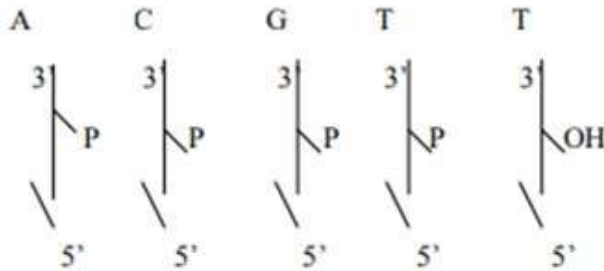
7.3 Struktur Asam Nukleat

Monomer nukleotida membentuk asam nukleat, yang terdiri dari DNA atau RNA. Nukleotida sendiri terdiri dari gugus fosfat, basa nitrogen, dan gula pentosa, serta kelompok basa pirimidin dan purin. Struktur asam nukleat terbentuk ketika gugus fosfat dari satu nukleotida membentuk ikatan ester dengan gugus hidroksil nukleotida lainnya melalui ikatan kovalen (Ischak, Netty Ino et al., 2017). Penggabungan berbagai nukleotida ini membentuk rantai panjang yang disebut polinukleotida. Dua ciri penting dari semua polinukleotida adalah sebagai berikut:

1. Fosfodiester selalu terikat pada polinukleotida antara karbon 3' dari satu monomer dan karbon 5' dari monomer berikutnya; dengan kata lain, dua ujung DNA dari rantai polinukleotida linear berada di arah yang berlawanan. Secara umum, satu

ujung berikatan dengan fosfat 5' dan yang lainnya berikatan dengan gugus hidroksil 3'.

2. Urutan basanya menentukan kekhasan rantai polinukleotida, sehingga urutan spesifik dari basa nitrogen menentukan karakteristik molekuler dari asam nukleat tersebut (Ischak, Netty Ino et al, 2017).



Gambar 7.6. A,G,T,C

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa jenis nukleotida adalah P, bahwa ujung nukleotida adalah 5' dan 3', bahwa semua ikatan fosfodiester adalah 3' hingga 5', dan bahwa molekul memiliki gugus P pada ujung 5' dan gugus -OH pada ujung 3' (Ischak, Netty Ino et al., 2017) penulisan sederhana DNA dan RNA dimulai ujung 5'fosfat bebas ke ujung 3' -OH bebas sebagai berikut :

DNA : 5'A-G-T-C-A-G -T-T-C- G-G-T-C-A-G 3'

RNA : 5'U-C-A-G-U-C-A-A-G-C-C-A-G-U-C 3'

Dua jenis utama asam nukleat dalam sel adalah DNA (deoxyribonucleic acid) dan RNA (ribonucleic acid) yang juga disebut sebagai asam deoksiribonukleat. Kedua macam asam nukleat ini bersifat anion dan biasanya terikat pada protein, menunjukkan sifat basa dalam konteks kimia. Meskipun keduanya dibentuk dari unit dasar nukleotida yang memiliki elemen umum seperti gugus fosfat, basa nitrogen, dan gula pentosa, struktur DNA dan RNA memiliki perbedaan. Perbedaan utama terletak pada jenis gula yang menyusun rantai nukleotida. Sementara DNA menggunakan deoksiribosa,

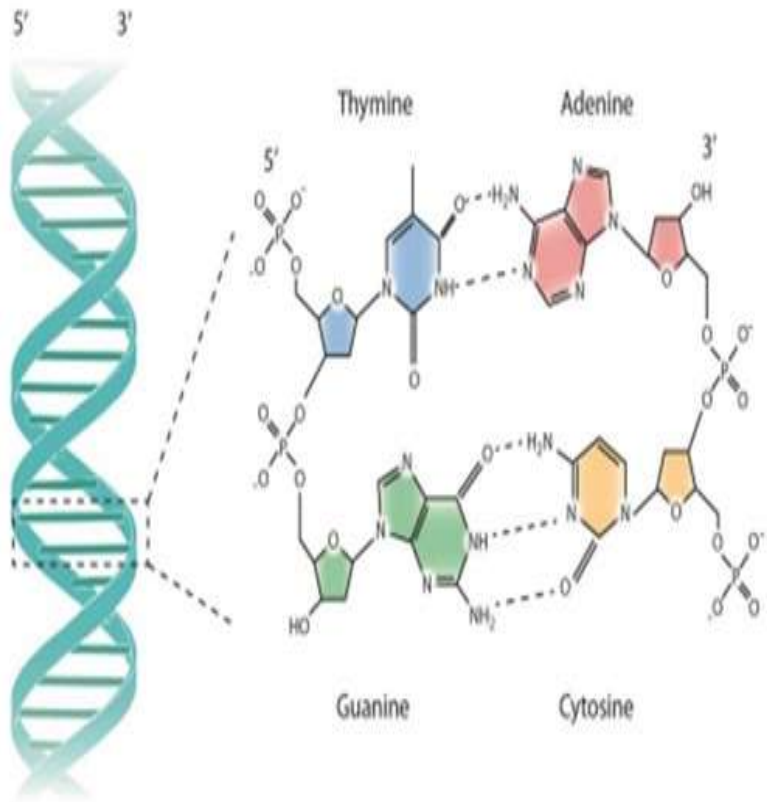
RNA menggunakan ribosa. Disamping itu, perbedaan mencakup basa nitrogen; timin digunakan dalam DNA, sementara urasil dalam RNA. Baik DNA maupun RNA juga memiliki perbedaan dalam struktur heliks dan peran fungsionalnya dalam penyimpanan serta transfer informasi genetik, serta sintesis protein.

A. Asam Deoksiribonukleat (DNA)

Asam deoksiribonukleat (DNA) adalah molekul deoksiribonukleotida yang saling terikat membentuk rantai polinukleotida panjang (double strand). Molekul ini terbentuk melalui ikatan atom C'3 dan C'5 pada molekul deoksiribosa dengan melibatkan gugus fosfat.

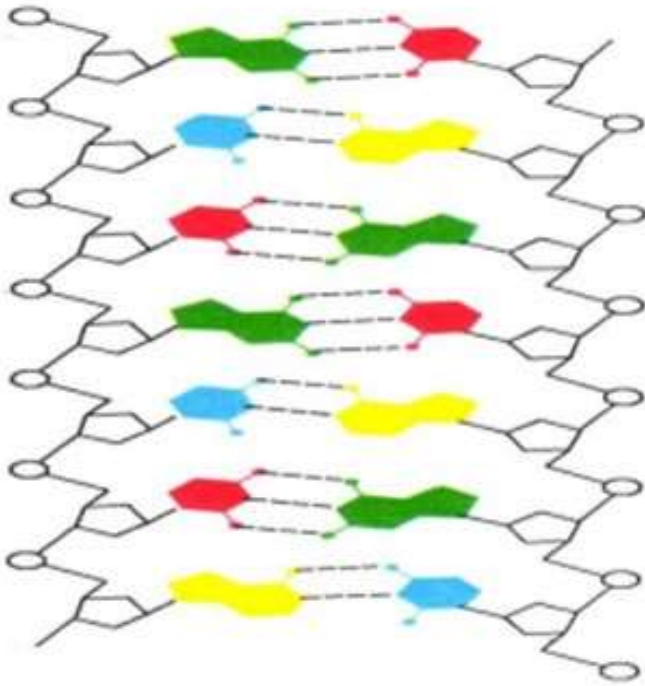
Seperti yang dijelaskan oleh Ischak, Netty Ino, et al. (2017), DNA memiliki karakteristik berikut.:

1. DNA mengandung gula deoksiribosa.
2. Terdiri dari basa nitrogen seperti guanin (G), sitosin (C), timin (T), dan adenin (A).
3. DNA membentuk rantai heliks ganda yang bersifat anti paralel.
4. Kandungan basa nitrogen antara kedua rantai seimbang dan berpasangan secara spesifik satu sama lain. Guanin selalu berpasangan dengan sitosin (G–C), dan adenin selalu berpasangan dengan timin (A–T). Akibatnya, jumlah sitosin dan adenin selalu sama.



Gambar 7.7. Struktur Sebagian dari DNA (Ischak, Netty Ino et al, 2017).

Banyak molekul DNA secara alami memiliki struktur tersier. Struktur seperti sirkular, yang melingkar dan terbuka, menunjukkan kekacauan dalam bentuknya. Istilah "pelilitan" di sini merujuk pada struktur DNA yang tertutup secara kovalen karena rantai polinukleotidanya tetap utuh. Struktur ini tidak memiliki ujung bebas, baik di 5' maupun di 3'. Jika salah satu rantai polinukleotida putus, heliks ganda akan kembali ke bentuknya yang normal sebagai sirkular terbuka (Ischak, Netty Ino et al, 2017).

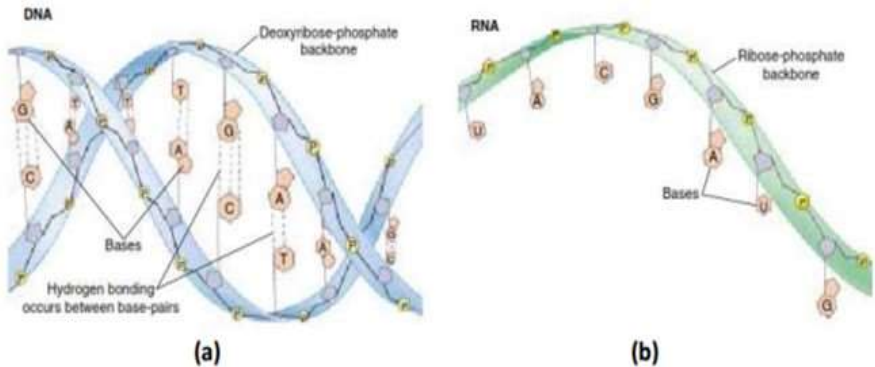


Gambar 7.8. Struktur DNA terdiri dari heliks ganda, basa nitrogen (berwarna), gugus fosfat, dan gula (berwarna hitam) (Ischak et al., 2017).

Pada gambar 7.8 Pada rantai molekul, ikatan hidrogen—ikatan antara atom hidrogen dan nitrogen—terlihat antara basa-basa. Adenin dan Timin membentuk dua ikatan hidrogen ($A=T$), sementara Guanin dan Sitosin membentuk tiga ikatan hidrogen ($G \equiv C$) (Ischak et al., 2017).

B. Struktur Asam Ribonukleat (RNA)

Dalam bentuk RNA, asam nukleat adalah polimer yang terdiri dari molekul ribonukleotida yang terikat antara atom C nomor 3 dan 5 pada molekul ribosa, dengan gugus fosfat berfungsi sebagai perantara. Perbedaan signifikan dengan DNA terletak pada gugus gula, di mana RNA menggunakan ribosa sebagai gula, dan pada posisi C nomor 2, terikat dengan gugus OH.



Gambar 7.9. (a) Struktur double heliks DNA (b) Struktur Tunggal RNA

Meskipun sama-sama asam nukleat namun terdapat perbedaan antar DNA dan RNA . RNA memiliki sifat spesifik yang berbeda dengan sifat kimia DNA, yaitu:

1. Ribonukleotida guanin (G), sitosin (C), adenin (A), dan Urasil (U) adalah pengganti ribonukleotida DNA timin yang ditemukan dalam RNA.
2. Untai fosfodiesteranya adalah untai tunggal yang dapat dilipat menjadi untai ganda seperti jepit rambut. Ini berbeda dengan DNA karena bentuk molekulnya adalah heliks ganda.
3. Pentosa Gula pada RNA adalah ribose
4. Jumlah guanine pada molekul RNA tidak sama dengan sitosin
5. Tidak mungkin kandungan bas dan pasangan adenin dan urasil dan sitosin sama dengan guanin.

Pada RNA terdiri dari 3 jenis yaitu mRNA (*messenger* RNA), rRNA (*ribosomal* RNA), dan tRNA (*transfer* RNA),). Ketiga jenis RNA ini memiliki peran yang berbeda-beda namun sama-sama memiliki peran dalam sintesis protein (Alfiyah, 2015). Molekul RNA pada sitoplasma yang menjadi template terjadinya sistesis protein yang disebut dengan messenger RNA (mRNA), RNA yang berperan pada formasi dan fungsi ribosom adalah ribosomal RNA (rRNA), dan yang berfungsi sebagai transfer RNA (tRNA) melakukan translasi informasi RNA menjadi polimer AA.

7.4 Sifat Fisika-Kimia Asam Nukleat

Asam nukleat menunjukkan karakteristik fisika dan kimia, termasuk stabilitasnya, pengaruh pH (lingkungan asam dan basa), dampak denaturasi, viskositas, dan kerapatan apung.

1. Stabilitas Asam Nukleat

Secara prinsip, stabilitas struktur asam nukleat tergantung pada interaksi penempatan antara pasangan-pasangan basa. Permukaan basa yang bersifat hidrofobik menyebabkan pengeluaran molekul air dari celah-celah antar pasangan basa, meningkatkan kekuatan perpasangan tersebut. Ini bukan karena adanya ikatan hydrogen di antara basa yang berpasangan, melainkan karena ikatan hydrogen tersebut hanya sekuat ikatan hydrogen antara basa dan molekul air ketika DNA berada dalam bentuk rantai tunggal. Dengan demikian, ikatan hydrogen tidak secara signifikan memengaruhi stabilitas struktur asam nukleat, melainkan lebih menentukan spesifitas perpasangan basa.

2. Pengaruh pH

Regulasi pH penting untuk menjaga tingkat keasaman dan alkalisasi, di mana asam nukleat dapat mengalami hidrolisis pada pH rendah (lingkungan asam pekat dan suhu tinggi) seperti HClO_4 . Namun, dalam asam mineral yang lebih encer, hanya ikatan glikosidik antara gula dan basa purin yang terputus, menyebabkan asam nukleat menjadi apuridik. Suasana alkali juga dapat mempengaruhi status tautomerik basa, di mana peningkatan pH dapat mengubah struktur guanin dari bentuk keto menjadi bentuk enolat karena kehilangan proton. Perubahan ini memutus sejumlah ikatan hydrogen, mengakibatkan denaturasi rantai ganda DNA dan RNA, terutama karena gugus OH pada atom C nomor 2 di gula ribosa membuat RNA lebih rentan terhadap hidrolisis bahkan pada pH netral.

3. Denaturasi

Denaturasi merusak ikatan hydrogen, dan beberapa bahan kimia seperti urea dan formamid dapat menyebabkan denaturasi pada pH netral. Pada konsentrasi tinggi, senyawa-senyawa ini dapat merusak ikatan hydrogen, mengurangi

stabilitas struktur sekunder asam nukleat, dan menyebabkan denaturasi rantai ganda.

4. Viskositas

Struktur tipis, memanjang, dan kaku dari DNA membuat larutan DNA memiliki viskositas tinggi. Viskositas ini membuat molekul DNA rentan terhadap fragmentasi fisik, yang menjadi tantangan ketika mengisolasi DNA utuh.

5. Kerapatan Apung

Analisis dan pemurnian DNA dapat dilakukan dengan mengukur kerapatan apungnya. Dalam larutan yang mengandung garam pekat seperti CsCl 8M, DNA memiliki kerapatan sekitar 1,7 g/cm³, sehingga dalam sentrifugasi isopiknik, DNA akan bermigrasi ke posisi gradien yang sesuai dengan kerapatannya. Metode ini memungkinkan pemurnian DNA dari RNA dan protein karena pelet RNA berada di dasar tabung dan protein mengapung. Selain itu, teknik ini berguna untuk analisis DNA karena kerapatan apung DNA merupakan fungsi linier dari kandungan GC-nya, di mana $\rho = 1,66 + 0,098\% (G+C)$. Fungsi Asam Nukleat

7.5 Fungsi Asam Nukleat

Asam nukleat adalah molekul besar yang memiliki fungsi khusus, yaitu menyimpan informasi genetik dan mentransmisikannya kepada keturunannya. Ada 48 susunan asam nukleat yang menentukan jenis makhluk, seperti hewan, tumbuhan, atau manusia, serta susunan dalam sel yang mempengaruhi apakah sel tersebut akan menjadi sel otot atau sel darah (Rahmadina, 2019). Beberapa fungsi penting asam nukleat melibatkan transmisi, penyimpanan, dan translasi informasi genetik dalam kegiatan metabolisme, termasuk reaksi-reaksi energi serta sebagai Dalam reaksi oksidasi-reduksi, biomolekul seperti koenzim pembawa energi, koenzim pemindah asam asetat, zat gula, senyawa amino, dan lainnya terlibat (Rahmadina, 2019).

Fungsi asam nukleat dari DNA dan RNA berbeda sesuai dengan jenisnya. DNA berperan sebagai penyimpan, pembawa, dan penyalur informasi genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya melalui proses reproduksi, sambil mengendalikan sifat-

sifat makhluk hidup. Informasi genetik disimpan dalam urutan basa nitrogen dalam rantai polinukleotida DNA, dan setiap segmen DNA, atau gen, mengkode protein atau RNA fungsional. DNA juga mengandung bagian-bagian yang mengatur ekspresi gen, seperti promotor dan operator.

RNA, di sisi lain, berfungsi sebagai perantara antara DNA dan protein dalam proses ekspresi gen. Ekspresi gen adalah proses membaca informasi genetik dari DNA dan menerjemahkannya menjadi protein atau RNA fungsional. Komponen ribosom, yaitu ribosomal RNA (rRNA), merupakan bagian dari mesin biologis pembuat protein. Messenger RNA (mRNA) bertindak sebagai pembawa informasi genetik dari gen ke ribosom, sedangkan Transfer RNA (tRNA) menterjemahkan informasi dalam mRNA menjadi urutan asam amino RNAs memiliki fungsi-fungsi yang lain, di antaranya fungsi-fungsi katalis (Rahmadina, 2019).

7.6 Sintesis Asam Nukleat (DNA dan RNA)

A. Sintesis RNA

Sintesis RNA melibatkan enzim yang disebut RNA polymerase, yang melakukan proses yang dikenal sebagai transkripsi dengan menggunakan DNA sebagai template (Setiawan, 2013). Pada organisme tingkat tinggi, terdapat tiga RNA polymerase utama, yang dinamai I, II, dan III (atau A, B, dan C). Setiap RNA polymerase merupakan kompleks protein dengan banyak subunit. RNA polymerase I mensintesis tiga jenis rRNA (RNA 18S, 28S, dan 5.8S) di nukleolus, sementara RNA polymerase II mensintesis prekursor mRNA yang kemudian diselesaikan. RNA polymerase III mensintesis tRNA dan 5S RNA, komponen keempat dari ribosom (Setiawan, 2013).

Proses dimulai dengan inisiasi transkripsi, di mana RNA polymerase terikat ke urutan promotor dalam DNA. Helikase membuka DNA heliks ganda, dan RNA polymerase mensintesis molekul RNA komplementer sepanjang untai template dalam arah 5' ke 3'. Setiap adenin dalam DNA menentukan urasil dalam RNA, setiap sitosin menentukan guanin, setiap guanin menentukan sitosin, dan setiap timin dalam DNA menentukan

adenin, menciptakan urutan nukleotida RNA yang ditentukan oleh cetakan DNA (Herpratama, 2015).

Selama elongasi, urutan nukleotida dalam cetakan DNA menentukan di mana dan kapan sintesis RNA harus dilakukan. RNA sering dimodifikasi setelah transkripsi, seperti penambahan poli dan topi 5' pada mRNA eukariotik. Ada juga polimerase RNA RNA-tergantung, seperti RNA-dependent RNA polymerase yang digunakan oleh beberapa virus RNA untuk mereplikasi materi genetik mereka (Herpratama, 2015).

Transkripsi melibatkan tiga tahap utama: inisiasi, elongasi, dan terminasi. Inisiasi terjadi di promoter, suatu daerah DNA yang menentukan lokasi dan untai heliks mana yang digunakan sebagai cetakan. Elongasi melibatkan perpasangan basa di sepanjang cetakan DNA, membentuk molekul RNA yang akan dilepaskan dari cetakan DNA. Terminasi terjadi ketika RNA polymerase mencapai terminator, suatu urutan RNA yang berfungsi sebagai sinyal pengakhiran. Pada sel prokariotik, transkripsi biasanya berhenti pada titik terminasi, sedangkan pada sel eukariotik, polimerase melanjutkan melewati sinyal terminasi sebelum mRNA dipotong dan dilepaskan (Rahmadina, 2019; Nugraheni and Sulistyowati, 2016; Travers and Muskhelishvili, 2015).

1. Inisiasi

Daerah pada DNA di mana RNA polimerase berikatan dan memulai proses transkripsi disebut sebagai promoter. Promotor menentukan lokasi awal transkripsi, serta menentukan untai heliks DNA mana yang digunakan sebagai cetakan.

2. Elongasi

Selama fase elongasi, RNA polimerase bergerak sepanjang DNA, membuka pilinan heliks ganda DNA. Ini memungkinkan pembentukan molekul RNA yang secara akhirnya akan dilepaskan dari cetakan DNA.

3. Terminasi

Proses transkripsi berakhir ketika RNA polimerase menyalin urutan DNA yang disebut terminator. Terminator yang telah ditranskripsi merupakan urutan RNA yang

berfungsi sebagai sinyal terminasi sejati. Pada sel prokariotik, transkripsi biasanya berhenti tepat di akhir sinyal terminasi, di mana polimerase melepaskan RNA dan DNA. Di sisi lain, pada sel eukariotik, polimerase melanjutkan melewati sinyal terminasi, khususnya urutan AAUAAA dalam mRNA. Sekitar 10 hingga 35 nukleotida lebih jauh, mRNA dipotong dan dilepaskan dari enzim tersebut.

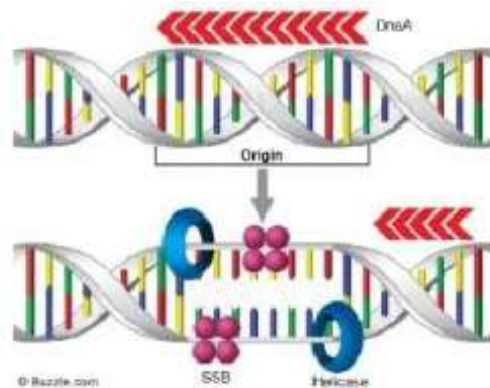
B. Sintesis DNA

Senyawa dasar yang terlibat dalam pembentukan DNA melibatkan asam fosfat, gula deoksiribosa, dan empat basa nitrogen yang telah dijelaskan sebelumnya. Molekul DNA memiliki struktur heliks ganda, yang merupakan kerangka dari DNA, dengan basa-basa terletak di antara dua rantai sebagai penghubung. Ikatan hidrogen menghubungkan rantai-rantai ini. Replikasi adalah proses di mana heliks ganda baru dan molekul DNA baru dapat dibentuk oleh setiap rantai polinukleotida. Molekul DNA dengan heliks ganda ini memiliki kemampuan untuk membelah diri (Alfiyah, 2015).

Proses replikasi dimulai dengan beberapa tahap, yaitu inisiasi, sintesis primer, sintesis leading strand, sintesis lagging strand, penghapusan primer, ligasi, dan pemutusan. Komponen-komponen yang terlibat dalam replikasi melibatkan:

1. DNA polymerase, enzim yang mengkatalisis perpanjangan rantai nukleotida satu dengan yang lainnya.
2. Deoksiribonukleosida trifosfat (dATP, dTTP, dGTP, dan dCTP) monomer penyusun rantai polinukleotida.
3. Protein pembentang dan 20 protein enzim lainnya atau sistem replikasi DNA (replisoma): fungsi kompleks.
4. DNA ligase, menyambung fragmen hasil polimerisasi.
5. DNA cetakan, DNA yang menjadi induk untuk sintesis DNA baru.
6. DNA primer, penjaga DNA baru

Hanya satu untai induk DNA dipertahankan pada setiap keturunan DNA selama proses inisiasi yang agak konservatif. Replikasi DNA dimulai pada lokasi spesifik yang dikendalikan oleh protein inisiasi DNA. Proses ini melibatkan pemecahan ikatan hidrogen antara pasangan basa oleh helikase, yang menyebabkan penguraian double helix menjadi alur tunggal di wilayah replikasi. Helikase kemudian melekat pada alur tunggal yang terbentuk. Sebagai hasilnya, satu molekul DNA dengan dua rantai antiparalel bereplikasi, menghasilkan dua rantai DNA baru. Proses ini berlanjut, menghasilkan 4 rantai DNA, 8 rantai, dan seterusnya. Reaksi polimerisasi mengikuti arah 5' ke 3' (Ischak, Netty Ino et al, 2017).



Gambar 7.10. Pelepasan untai DNA

1. Sintesis Primer

Tahap pembukaan DNA untai ganda superkoil, di mana sintesis baru menggunakan template yang dibawa oleh enzim yang disebut DNA polymerase.

Sintesis Oligonukleotida Primer: Pembukaan dimulai dengan sintesis oligonukleotida primer, yang merupakan sekuens pendek nukleotida yang menyediakan titik awal untuk sintesis DNA baru. Pemanjangan Rantai DNA Arah 5'—3', Pelepasan Primer, dan Penyambungan Fragmen

DNA dan Membentuk Ikatan Fosfodiester Proses ini melibatkan pemanjangan rantai DNA dalam arah 5'—3', dan pelepasan primer, dan penyambungan fragmen DNA untuk membentuk ikatan fosfodiester. Tiga jenis enzim mengkatalisis tahap awal pembukaan DNA, menurut Ischak, Netty Ino et al. (2017):

Enzim Helikase (atau Enzim Replikasi DNA): Mengatalisis pembukaan bagian DNA di mana dua untai terpisah (garpu replikasi). Protein Heliks-Destabilizing atau Protein DNA-Binding Satu Untai: Menjaga basa-basa pada untai tunggal agar tidak berpasangan dengan yang lain. Enzim DNA Girase: Mengatalisis pembukaan bagian DNA di mana dua untai terpisah (garpu replikasi). Ketiga enzim ini membentuk DNA satu untai.

Pada tahap berikutnya, enzim RNA polimerase spesifik, juga dikenal sebagai enzim primase, dnaG, dan protein dnaB, terlibat. Enzim RNA polimerase spesifik ini berbeda dari RNA polimerase untuk sintesis RNA karena mereka bersifat nukleofilik dan membentuk ikatan fosfodiester pada rantai DNA yang tidak berpasangan. Setelah dnaG membentuk oligonukleotida primer, dnaB mengikat DNA untai tunggal pada sisi awal replikasi (Ischak, Netty Ino et al., 2017).

Pada tahap berikutnya, menggunakan katalis DNA polimerase III dan DNA polimerase I, serta DNA ligase. Proses pertumbuhan rantai terjadi dengan penambahan deoksiribonukleotida pada gugus 3'-OH ujung rantai primer (pertumbuhan 5' → 3'). Karena kedua rantai DNA bersifat antiparalel satu terhadap lainnya, Replikasi semikonservatif juga unik karena terdiri dari satu rantai replikasi yang berlanjut yang menghasilkan untai penuntun (Ischak, Netty Ino et al., 2017).

Sedangkan untai yang lain replikasinya bersifat diskontinu dan menghasilkan untai potongan atau disebut juga fragmen Okazaki. Pada tahap ini, dihasilkan satu untai utuh DNA anak yang mengikuti DNA induk dan satu untai lagi berupa fragmen DNA anak. Fragmen DNA anak ini

kemudian dirangkaikan menjadi satu untai utuh oleh enzim DNA ligase, sehingga akhirnya satu double heliks DNA menghasilkan dua DNA anak heliks ganda, dan seterusnya. Penyambungan fragmen Okazaki melibatkan pembentukan ikatan fosfodiester antara gugus 3'-OH residu nukleosida dan 5'-fosfat residu yang berdekatan. Dalam proses ini pada *E. Coli*, kofaktor NAD diperlukan, sementara pada hewan eukariotik menggunakan kofaktor ATP (Ischak, Netty Ino et al., 2017).

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiah, S. 2015. 'Struktur DNA dan Pengaruh Perubahannya', *Academia* [Preprint].
- Hanum, Galuh Ratman. 2018. *Biokimia Dasar*. Sidoarjo: UMSIDA Press
- Herpratama, S. 2015. 'Asam Nukleat', *Biochemistry* [Preprint].
- Ischak, Netty Ino et al. 2017. *Biokimia Dasar*. Gorontalo: UNG Press
- Nugraheni, E. and Sulistyowati, I. 2016. 'Diagnosis Molekuler Virus Dengue', *Jurnal Kedokteran UNILA*, 1(2), pp. 385–392.
- Rahmadina. 2019. *Biokimia Dalam Kehidupan*. Medan: Modul Ajar
- Setiawan, T. 2013. 'Metabolisme Asam Nukleat', *Makalah Biokimia Komparatif* [Preprint].
- Travers, A. and Muskhelishvili, G. 2015. 'DNA structure and function', *FEBS Journal* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1111/febs.13307>.
- Umbu Henggu, K. and Nurdiansyah, Y. 2022. 'Review dari Metabolisme Karbohidrat, Lipid, Protein, dan Asam Nukleat', *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan* [Preprint]. Available at:

BAB 8

KONSEP ASAM BASA

Oleh Sry Astuti

8.1 Pendahuluan

Saat sekarang mendengar istilah asam dan basa sebetulnya adalah hal yang biasa, seperti air kapur dan cuka bakso, tetapi tidak semua orang mengenal penamaan secara IUPAC atau sesuai dengan aturan kimianya dari air kapur (kalsium hidroksida) dan cuka bakso (asam asetat atau asam etanoat). Zat asam-basa selain digunakan untuk pengolahan awal pada berbagai produk makanan, rumah tangga, dan obat-obatan, serta asam-basa juga memegang peranan penting pada pengolahan produk industri. Sebelum membahas lebih lanjut mengenai reaksi asam dan basa, terlebih dahulu harus mengetahui secara mendalam dari asam-basa tersebut (Chang, 2004).

Sifat asam-basa dari suatu zat kimia sering kita temui saat ini. Sebagian besar senyawa asam yang diketahui oleh masyarakat pada umumnya seperti asam cuka, asam lambung, asam sitrat dan masih banyak lagi. Masyarakat biasanya dapat mengetahui zat asam-basa pada rasanya dan penamaan senyawanya. Zat asam memiliki ciri khas yaitu dari rasanya yang masam, memiliki bau yang tajam dan jika terkena kulit atau tubuh yang luka akan terasa pedih. Kemudian senyawa basa pada umumnya masyarakat dapat mengetahuinya dari sifat fisik atau penampilannya yang terasa licin ditangan dan berbusa pada saat senyawa basa tersebut bercampur dengan air dan memiliki rasa yang pahit, seperti pasta gigi dan sabun (Wardani dan Arifiyana, 2020).

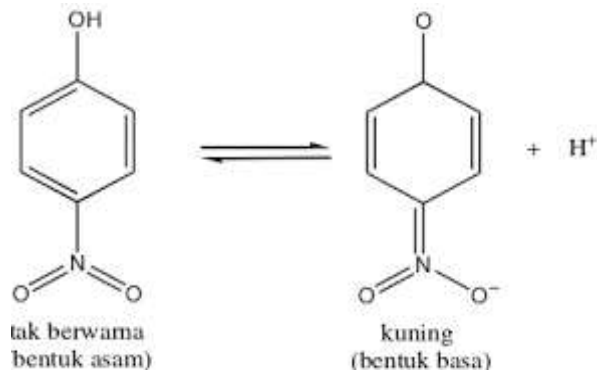
8.2 Indikator Asam Basa

Indikator ialah bahan yang dapat mengetahui sifat asam atau basa suatu zat dalam larutannya yang ditandai terjadinya perubahan warna dari zat atau larutan tersebut setelah bercampur. Warna suatu zat dalam larutan sangatlah banyak berpengaruh dari

nilai pH. Berdasarkan Petrucci (2007), menyatakan bahwa indikator merupakan bahan yang digunakan sebagai pertanda sifat asam dan basa dari perubahan warnanya, serta warnanya berpengaruh dari penambahan pH larutannya. Indikator dapat berupa asam lemah atau basa lemah yang menghasilkan warna berbeda baik bentuk tidak pengionisasiannya maupun bentuk pengionisasiannya, serta indikator merupakan bahan yang jika berada pada suasana asam atau basa mempunyai warna yang berbeda (Chang, 2005). Indikator sintesis merupakan indikator yang terbuat bahan-bahan di laboratorium dan biasanya digunakan untuk menentukan sifat asam atau sifat basa. Berbeda dengan indikator alami ialah bahan terdapat di alam yang lebih aman jika dibandingkan indikator sintesis karena menghasilkan polusi terhadap lingkungan, ketersediaannya dan biaya yang harus dikeluarkan (Saputro dkk, 2014).

Banyak indikator sintesis yang digunakan dalam percobaan asam-basa. Indikator asam-basa yang biasa ada dalam percobaan dan paling sederhana yaitu kertas lakmus. Kertas lakmus terbagi menjadi dua jenis yaitu lakmus merah dan biru. Kertas lakmus merah terjadi perubahan warna menjadi warna biru bila dimasukkan kedalam zat yang bersifat basa dan tidak terjadi perubahan warna bila dimasukkan kedalam larutan yang bersifat asam. Sedangkan, kertas lakmus biru terjadi perubahan warna menjadi warna merah bila dimasukkan kedalam larutan yang bersifat asam dan tidak terjadi perubahan warna bila dimasukkan kedalam larutan yang bersifat basa. Tidak terjadi juga perubahan warna pada kertas lakmus merah dan biru bila pada larutan dengan keadaan netral atau larutan garam.

Indikator asam dan basa adalah bahan yang mengalami perubahan warna yang menghasilkan fluoresen dari rentang range pH tertentu. Adanya warna dari indikator asam dan basa tersebut karena adanya resonansi isomer elektron. Indikator asam dan basa memiliki nilai konstanta pengionan yang tidak sama, sehingga menyebabkan warna pada trayek pH-nya tidak sama juga (Khopkar, 1990).



Gambar 8.1. Struktur indikator p-nitrofenol (Harjono, 1990)

Indikator asam dan basa memiliki banyak bentuk. Dua bentuk struktur yang dimiliki indikator asam dan basa memiliki warna absorpsi tidak sama. Bentuk satu ke bentuk lainnya dari indikator asam basa berubah karena terjadi pada reaksi setimbang yang bergantung dari konsentrasi ion hidrogen pada larutannya. p-nitrofenol merupakan asam lemah memiliki nilai tetapan pengionnya sebesar 6 dengan struktur dan ionnya seperti pada gambar 4.1 (Harjono, 1990). Bentuk struktur asam dan basa tidak sama karena memiliki ikatan rangkap yang berselang-seling dengan ikatan tunggal (ikatan rangkap konjugasi). Kemudian pada indikator fenoltalein ketika pada larutan yang bersifat asam menjadi warna bening atau tidak berwarna dan jika pada larutan bersifat basa terjadi perubahan warna menjadi berwarna merah (Sukardjo, 1985).

Selain kertas lakmus, indikator asam-basa selanjutnya yaitu indikator universal. Indikator universal digunakan untuk menentukan tingkat keasaman suatu zat dari rentang pH 1 sampai dengan 14. Setiap rentang nilai pH mempunyai perubahan warna yang tidak sama. Adapun teknik penggunaan indikator universal yaitu mencelupkannya kedalam larutan akan diuji, selanjutnya mengamati terjadinya perubahan warna dan mencocokkan warnanya pada warna di kemasannya. Indikator universal tidak sama kegunaannya dengan kertas lakmus, walaupun sama-sama digunakan untuk mengetahui sifat asam dan basa, tetapi kertas

lakmus hanya bisa mengetahui sifat asam atau basa dari larutan yang diuji, sedangkan indikator universal dapat mengetahui berapa nilai pH dari larutan uji dengan interval $\text{pH} = 1$ (Wardani dan Arifiyana, 2020).



Gambar 8.2. Indikator Universal

Selanjutnya indikator asam-basa berikutnya yang bisa mengetahui sifat asam dan basa dari suatu larutan dengan lebih teliti yakni pH meter. Indikator tersebut juga digunakan untuk menentukan sifat asam dan basa dari suatu larutan jauh lebih cepat dan lebih teliti jika dibandingkan dengan indikator universal (Wardani dan Arifiyana, 2020).



Gambar 8.3. pH Meter

8.3 Pengertian Asam Basa

8.3.1 Asam

Asam (disimbolkan dengan rumus umum H_xA) secara umum adalah zat yang bila dalam air terbentuk ion hidrogen (ion H^+) pada larutannya dengan nilai pH kurang dari 7. Arti secara modernnya, asam merupakan zat memberi atau donor proton ke zat lainnya, serta asam juga merupakan zat yang menangkap pasangan elektron dari larutan yang bersifat basa. Jika larutan yang sifat asam bereaksi dengan larutan yang bersifat basa maka akan menghasilkan garam melalui reaksi penetralan.

Larutan yang bersifat asam, seperti asam lambung, yang biasa dikenal dengan nama asam klorida dan asam sulfat yang terdapat didalam aki mobil atau dikenal dengan nama air aki. Asam pada umumnya memiliki rasa masam, walaupun memiliki rasa asam, tetapi seperti asam pekat sangat berbahaya dan tidak dianjurkan jika dicicipi.

Sifat–Sifat Asam

Adapun sifat–sifat asam sebagai berikut:

1. Memiliki rasa asam.
2. Menyebabkan iritasi pada kulit, terutama asam kuat.
3. korosif terhadap logam yaitu logam sangat reaktif atau bereaksi hebat dengan kebanyakan asam.
4. Memiliki daya hantar listrik karena larutan asam merupakan elektrolit walaupun tidak selalu ionik.

Penggunaan asam

Asam mempunyai banyak kegunaan, adapun salah satu kegunaannya yaitu pemberi rasa asam pada makanan seperti asam pada jeruk nipis atau asam pada cuka. Asam juga dimanfaatkan sebagai larutan elektrolit di dalam aki, seperti asam sulfat pada aki mobil atau dikenal dengan istilah cairan aki. Adapun dalam tubuh manusia dan hewan terdapat hidrogen klorida yang terletak pada lambung untuk membantu memecah protein dan polisakarida maupun mengubah proenzim pepsinogen yang tidak aktif menjadi enzim pepsin. Asam juga

berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat terbentuknya produk yang diinginkan, seperti, proses alkilasi pada pembuatan bensin menggunakan asam sulfat sebagai katalisnya.

Asam Lemah dan Asam Kuat

Asam lemah merupakan zat yang tidak mengalami ionisasi sempurna pada larutannya, seperti bila suatu asam diberi lambang **HZ**, sehingga dalam larutan tersebut terdapat sejumlah besar HZ yang tidak mengalami ionisasi. Dalam air, suatu asam lemah mengalami ionisasi jika:

1. Konsentrasi reaksi reversible pada pereaksi dan hasil reaksi dikaitkan dengan persamaan tetapan ionisasi asam, K_a
2. Nilai K_a sebanding dengan terbentuknya ion H^+ , sehingga nilai pH larutan semakin berkurang.

Asam kuat mengalami ionisasi sempurna ketika dalam larutannya. Pada umumnya asam merupakan asam lemah. Asam organik merupakan anggota terbesar dari asam lemah. Asam lemah terdapat pada rumah tangga seperti asam salisilat dalam aspirin dan asam asetat dalam cuka.

8.3.2 Basa

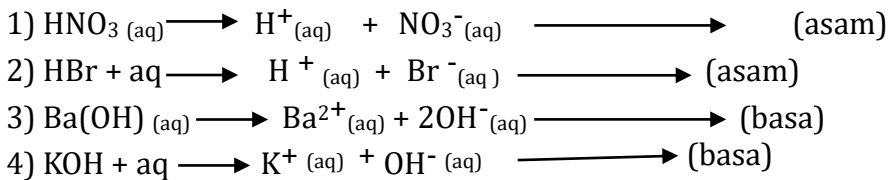
Definisi secara umum dari **basa** merupakan suatu zat atau senyawa kimia yang melepaskan ion hidroksida (ion OH^-) ketika pada larutannya. Basa merupakan kebalikannya asam, yang diarahkan pada zat kimia yang mempunyai nilai pH lebih besar 7. *Kostik* adalah istilah yang diperuntukkan pada basa kuat, seperti pada nama kostik kapur yaitu kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) dan kostik magnesium yaitu magnesium hidroksida ($Mg(OH)_2$). Senyawa basa terbagi kedalam dua jenis yaitu *basa kuat* dan *basa lemah*. Kekuatan sifat basanya bergantung dari kemampuannya untuk mengeluarkan ion OH^- pada larutannya dan konsentrasinya.

8.4 Teori Asam Basa

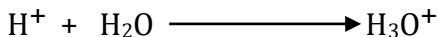
8.4.1 Teori Asam Basa Menurut Arrhenius

1. Asam ialah senyawa yang mampu membentuk ion H^+ (hidrogen) pada larutannya.
2. Basa ialah senyawa yang mampu membentuk ion OH^- (hidroksida) pada larutannya.

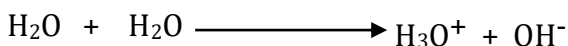
Adapun reaksi ionisasi senyawa asam dan senyawa basa pada larutannya yaitu:



Ketika diperhatikan ion H^+ tidak dapat berdiri sendiri pada larutannya, namun akan bergabung dengan gas oksigen melalui kovalen koordinasi pada larutannya sehingga terbentuk ion hidronium (H_3O^+). Adapun reaksi pembentukan ion hidronium tersebut sebagai berikut:

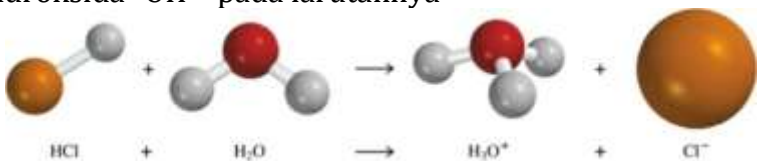


Ion H_3O^+ dan OH^- ada pada air murni melalui reaksi



Sehingga dari reaksi tersebut dapat didefinisikan bahwa asam basa Arrhenius yaitu:

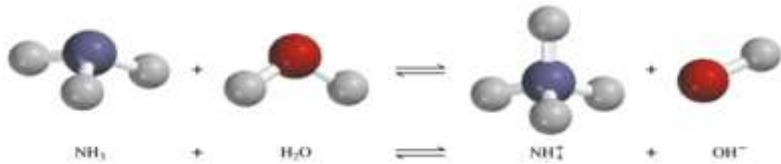
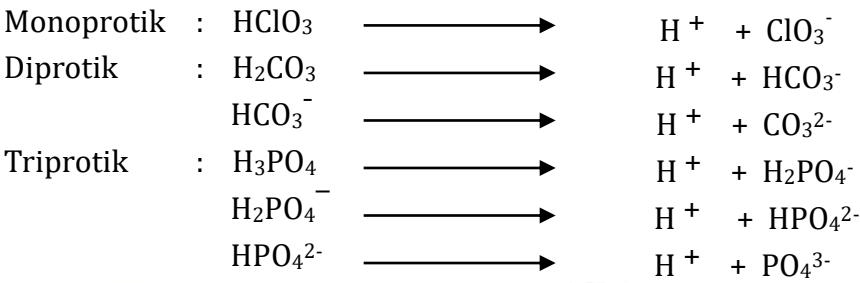
1. Asam ialah senyawa yang menaikkan konsentrasi ion hidronium (H_3O^+) pada larutannya.
2. Basa ialah senyawa yang menaikkan konsentrasi ion hidroksida (OH^-) pada larutannya



Gambar 8.4. Reaksi HCl dengan Air

Asam ialah senyawa yang pada larutannya terbentuk ion H_3O^+ dan anion.

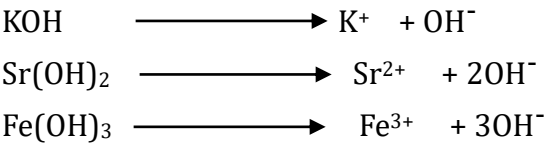
Molekul asam dapat membebaskan satu, dua, dan tiga ion hidrogen (H^+) yang disebut dengan asam mono, di, dan triprotik. Adapun tahapan reaksi pelepasan ion hidrogen (H^+), misalkan pada HClO_3 , H_2CO_3 dan H_3PO_4 .



Gambar 8.5. Reaksi NH_3 dengan Air

Cara terbentuknya basa ada dua yakni zat yang mempunyai ion OH^- dan zat yang larut dalam air sehingga terbentuk ion OH^- .

Contohnya :

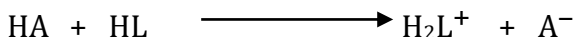


8.4.2 Teori Asam Basa Menurut Brønsted-Lowry

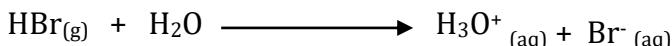
Teori asam-basa menurut Brønsted-Lowry yaitu bahwa keadaan asam atau basa bergantung dari zat tersebut untuk memberi atau menangkap proton (H^+).

Asam merupakan zat yang dapat mendonorkan proton (H^+) kepada zat lainnya. Basa merupakan zat yang dapat menangkap atau akseptor proton (H^+) dari zat atau partikel lainnya.

HA disebut asam dalam larutanya karena dapat memberikan proton (H^+) ke molekul pelarut (HL).

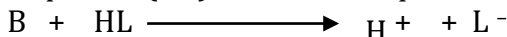


Contoh:

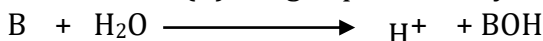


Jadi, air akan bersifat basa jika ada asam didalam larutannya.

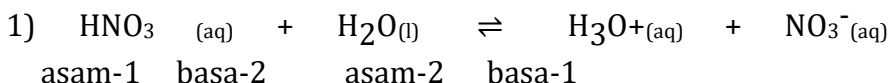
B disebut basa dalam larutanya karena menerima atau akseptor proton (H^+) dari molekul pelarut (HL)



Adapun reaksi basa (B) dengan pelarut air yaitu:

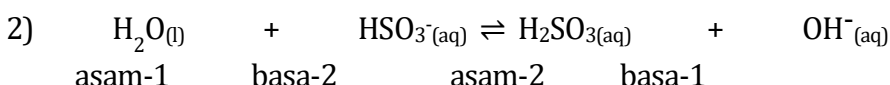


Contoh:



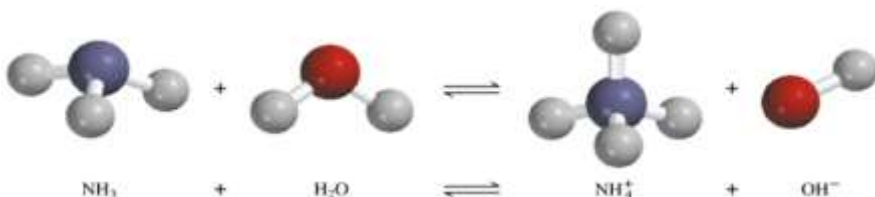
HNO_3 dan NO_3^- adalah pasangan asam dan basa konjugasi.

H_3O^+ dan H_2O adalah pasangan asam dan basa konjugasi.



H_2O dan OH^- adalah pasangan basa dan basa konjugasi.

HSO_3^- dan H_2SO_3 adalah pasangan asam dan asam konjugasi.

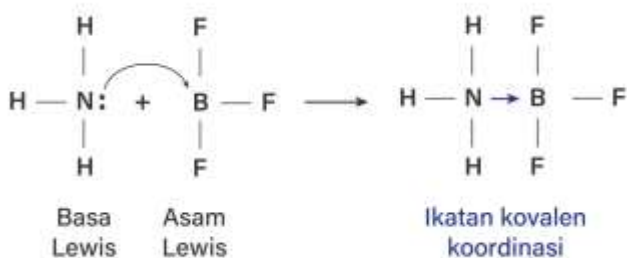


Gambar 8.6. Reaksi NH_3 dan H_2O

Pada reaksi tersebut bahwa H_2O bertindak sebagai asam karena memberikan proton (H^+) kepada NH_3 dan NH_3 bertindak sebagai basa karena menerima proton (H^+) dari H_2O . Molekul H_2O dapat bertindak sebagai asam dan basa, sehingga spesi H_2O dapat bersifat amfiprotik (amfoter).

8.4.3 Teori Asam Basa Menurut Lewis

Teori asam basa lewis menjelaskan konsep asam basa yang tidak dapat dijelaskan oleh Bronsted-Lowry maupun teori Arrhenius, seperti reaksi antara senyawa amonia dengan boron trifluorida menjadi $\text{H}_3\text{N}-\text{BF}_3$.



Gambar 8.7. Reaksi NH_3 dengan BF_3

Reaksi diatas terjadi antara molekul NH_3 dengan BF_3 sehingga terbentuk molekul NH_3-BF_3 melalui ikatan kovalen koordinasi pada atom N yang menyumbangkan pasangan elektron bebasnya ke atom B. Terbentuknya ikatan kovalen koordinasi antara atom N dan atom B secara struktur Lewis, sehingga konsep Lewis tersebut disebut dengan teori asam-basa Lewis.

Adapun teori asam-basa menurut Lewis yaitu:

1. Asam merupakan zat yang sebagai akseptor pasangan elektron dari zat lainnya.
2. Basa merupakan zat sebagai pendonor pasangan elektronnya kepada zat lainnya.

8.5 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau disebut pH adalah angka yang menggambarkan kekuatan keasaman dari zat dalam larutannya. Angka pH (*power of Hidrogen*) dari zat dapat ditentukan bila konsentrasi zatnya, derajat pengionisasinya zat tersebut telah tersedia (Wardani dan Arifiyana, 2020).

8.5.1 Asam

Angka pH (*power of Hidrogen*) dari zat yang bersifat asam dapat ditentukan bila konsentrasi asamnya, derajat pengionisasinya dari zat tersebut diketahui. Adapun menentukan angka pH-nya jika telah ada data konsentrasi ion H^+ dengan rumus sebagai berikut:

$$pH = -\text{Log } [H^+]$$

Pada asam kuat, untuk menentukan konsentrasi ion H^+ dapat digunakan rumus:

$$[H^+] = \alpha \cdot M_{\text{asam}} \cdot \text{Valensi}$$

Keterangan :

$[H^+]$: Konsentrasi ion H^+

α : Derajat Pengionisasi (untuk asam kuat angka $\alpha = 1$)

M_{asam} : Konsentrasi larutan asam (M)

Valensi: Jumlah ion H^+



Senyawa HNO_3 memiliki satu ion H^+ sehingga jumlah valensinya satu, sedangkan senyawa H_2SO_4 memiliki dua ion H^+ sehingga jumlah valensinya dua.

Asam lemah ditentukan angka pHnya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$pH = -\text{Log } [H^+]$$

Cara menentukan konsentrasi ion H^+ dari asam lemah berbeda dengan asam kuat. Konsentrasi ion H^+ dari asam lemah ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$[H^+] = \alpha \cdot M_{\text{asam}}$$

Atau

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

Keterangan :

$[H^+]$: Konsentrasi ion H^+

α : Derajat pengionisasi (asam lemah = $\alpha < 1$ atau $0 < \alpha < 1$)

M_{asam} : Konsentrasi larutan asam (M)

K_a : Konstanta ionisasi asam

Konsentrasi ion H^+ pada senyawa asam lemah tidak bergantung dari valensinya, tetapi bergantung dari angka konstanta ionisasi asam (K_a) (Wardani dan Arifiyana, 2020).

8.5.2 Basa

Angka pH dari suatu basa dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$pH = pK_w - pOH$$

pK_w adalah tetapan reversible air sebesar 14. Basa mempunyai angkapH lebih besar dari 7 yaitu antara nilai 7 sampai 14. Angka pH basa bisa dihitung dengan menentukan terlebih dahulu nilai pOH larutannya. pOH dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$pOH = -\text{Log } [OH^-]$$

$[OH^-]$ dari basa kuat dapat dihitung dengan mengkalikan valensi basa dengan konsentrasi larutan basa tersebut. Valensi basa adalah jumlah ion OH^- dari reaksi ionisasi basa pada larutannya. Adapun rumus penentuan konsentrasi ion OH^- sebagai berikut:

$$[OH^-] = \alpha \cdot M_{basa} \cdot \text{valensi}$$

Basa kuat mengalami ionisasi sempurna pada larutannya sehingga mempunyai derajat pengionisasi sebesar 1 ($\alpha=1$).

Jumlah ion OH^- pada senyawa NaOH jika dilarutkan dalam larutannya adalah satu, sehingga jumlah valensi OH^- sebanyak satu. Kemudian jumlah ion OH^- pada $\text{Ba}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan dalam larutannya sebanyak dua, maka jumlah valensi OH^- pada $\text{Ba}(\text{OH})_2$ sebesar dua.

Basa lemah berbeda dengan basa kuat, yang tidak bisa terjadi ionisasi secara sempurna dalam larutannya, maka mempunyai derajat pengionisasi < 1 atau $0 < \alpha < 1$. konsentrasi ion OH^- dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$[\text{OH}^-] = \alpha \cdot M_{\text{basa}}$$

Atau

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \times M_{\text{basa}}}$$

Keterangan :

$[\text{OH}^-]$: Konsentrasi ion OH^-

α : derajat pengionisasi (basa lemah angka $\alpha < 1$ atau $0 < \alpha < 1$)

M_{basa} : konsentrasi larutan basa (M)

K_b : konstanta ionisasi basa

Konsentrasi ion OH^- pada basa lemah, tidak bergantung dari valensi ion OH^- , tetapi bergantung dari nilai tetapan ionisasi basa (Wardani dan Arifiyana, 2020).

DAFTAR PUSTAKA

- Chang, Raymond. 2004. *Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Chang, Raymond. 2005. *Kimia Dasar dan Konsep-Konsep Inti* . Jakarta: Erlangga.
- Hardjono, S. 1990. *Spektroskopi Inframerah*. Yogyakarta: Liberti.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press
- Petrucci, dkk. 2007. *Kimia Dasar Prinsip-Prinsip dan Aplikasi Modern Edisi Kesembilan Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Raharjo, Susanto I. 1985. *Larutan Dan Kinetika Kimia*. Bandung: ITB.
- Saputro, dkk. 2014. *Pengelolaan Limbah Peternakan Sapi untuk Meningkatkan Kapasitas Produksi pada Kelompok Ternak Patra Sutura*. Jurnal Rekayasa, Vol. 12, No. 2.
- Sukardjo, 1985. *Kimia Anorganik*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Wardani, Ratih kusuma dan Arifiyana, Djamilah. 2020. *Suhu, Waktu dan Kelarutan Kalsium Oksalat pada Umbi Porang*. Surabaya: Penerbit Graniti.

BAB 9

LOGAM DALAM KIMIA ANORGANIK

Oleh Waode Rustiah

9.1 Pendahuluan

Logam adalah unsur kimia yang memiliki sifat kuat, keras, liat, merupakan penghantar panas dan listrik, serta mempunyai titik lebur tinggi. Benda logam pada awalnya dibuat dari bijih logam, dimana bijih logam dapat diperoleh dengan cara menambang baik yang berupa bijih logam murni maupun yang bercampur dengan materi lain. Bijih logam yang diambil dalam keadaan murni diantaranya adalah emas, platina, perak, bismut dll. Sedangkan ada juga bijih logam yang bercampur dengan unsur lain seperti tanah liat, fosfor, silikon, karbon, serta pasir.

Dalam kimia, sebuah **logam** atau **metal** (bahasa Yunani: *Metallon*) adalah sebuah unsur kimia yang siap membentuk ion (kation) dan memiliki ikatan logam, dan kadangkala dikatakan bahwa ia mirip dengan kation di awan elektron. Metal adalah salah satu dari tiga kelompok unsur yang dibedakan oleh sifat ionisasi dan ikatan, bersama dengan metaloid dan nonlogam. Dalam tabel periodik, garis diagonal digambar dari boron (B) ke polonium (Po) membedakan logam dari nonlogam. Unsur dalam garis ini adalah metaloid, kadangkala disebut semi-logam. Alotrop logam cenderung mengkilap, lembek, dan konduktor yang baik, sementara nonlogam biasanya rapuh (untuk nonlogam padat), tidak mengkilap, dan insulator. Dalam bidang astronomi, istilah logam seringkali dipakai untuk menyebut semua unsur yang lebih berat daripada helium.

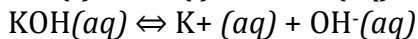
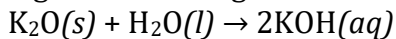
9.2 Logam Golongan 1

Golongan 1 disebut juga logam alkali. Dalam sistem periodik unsur, logam alkali adalah unsur-unsur yang terletak pada golongan IA, yaitu Li (litium), Na (natrium), K (kalium), Rb

(rubidium), Cs (sesium), dan Fr (fransium). Pada golongan alkali hidrogen termasuk nonlogam walaupun dengan alkali sama-sama memiliki satu elektron pada kulit terluarnya. Berdasarkan konfigurasi elektron diketahui semua unsur alkali memiliki 1 elektron yang terletak pada kulit terluar. Persamaan ini menyebabkan unsur-unsur alkali memiliki sifat kimia yang mirip. Walaupun memiliki sifat yang mirip tetapi unsur-unsur alkali keberadaan di alam tidak bersama-sama. Hal ini disebabkan oleh ukuran-ukuran ion alkali yang sangat berbeda satu dengan yang lainnya.

Natrium dan kalium sangat melimpah di kerak bumi sedangkan litium, rubidium dan sesium kelimpahannya sangat sedikit. Kelimpahan logam alkali yang paling sedikit adalah fransium. Hal ini disebabkan fransium merupakan unsur radioaktif yang memancarkan sinar beta (β) dengan waktu paruh yang pendek sekitar 21 menit, kemudian segera berubah menjadi unsur thorium. Logam fransium dihasilkan dari unsur aktinum dengan pemancaran sinar alpha (α). Oleh karena fransium mempunyai waktu paruh yang pendek, maka diperkirakan setiap waktu tertentu hanya ada 30 gr logam ini di kerak bumi.

Logam alkali tidak pernah ada dalam bentuk logam murni di alam. Logam ini selalu dalam bentuk senyawa yang ditemukan baik dalam kerak bumi maupun dalam lautan. Di daerah-daerah yang cuacanya kering, deposit garam dapat terjadi di permukaan. Kebanyakan senyawa logam alkali larut dalam air, dan dimana daerah yang turun hujan, maka garam-garam tersebut tersapu oleh air dan masuk ke dalam laut dan danau atau larut masuk berkumpul dalam air tanah. Berikut contoh reaksi logam alkali dengan air.



9.2.1 Sumber Logam Alkali di Alam

1. Natrium ditemukan sebagai natrium klorida (NaCl), terdapat dalam air laut, bentuk sendawa Chili NaNO_3 , trona ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dan mirabilit (Na_2SO_4).

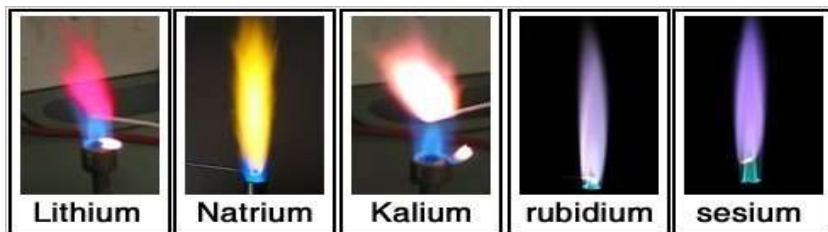
2. Kalium didapat sebagai mineral silvit (KCl), mineral karnalit ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sendawa (KNO_3), dan feldspar ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$). Selain dari kalium juga terdapat dalam air laut.
3. Unsur rubidium dan sesium dihasilkan sebagai hasil samping proses pengolahan litium dari mineralnya.

9.2.2 Sifat Kimia Logam Alkali

Semua unsur yang termasuk ke dalam logam alkali bersifat sangat reaktif. Dalam satu golongan dari atas ke bawah akan semakin reaktif. Kereaktifan semakin ke bawah semakin besar karena energi ionisasi semakin rendah. Semakin ke bawah akan lebih mudah melepaskan elektron. Karena sifatnya yang reaktif, unsur ini tidak pernah ditemukan dalam keadaan bebas di alam. Logam alkali banyak ditemukan dalam senyawa garam mineralnya. Sifat kimia sangat mirip misalnya dalam pembentukan senyawa ionik tetapi berbeda dalam rumus dan reaktivitas lebih rendah karena energi ionisasi (IE) pertama lebih tinggi dan terdapatnya energi ionisasi kedua membentuk ion M^{2+} yang stabil. Bilangan oksidasi senyawa selalu +2 di dalam senyawa. Kelarutan, sebagian besar senyawa-senyawa logam alkali larut dalam air walaupun kelarutannya berbeda-beda. Sebagai contoh, larutan jenuh litium klorida mempunyai konsentrasi 14 mol/L tetapi larutan jenuh litium karbonat mempunyai konsentrasi hanya 0,18 mol/L.

9.2.3 Warna Nyala Logam Alkali

Warna nyala yang dihasilkan oleh suatu unsur disebut spektrum emisi. Spektrum emisi yang dihasilkan berkaitan dengan model atom Neils Bohr. Ketika atom diberikan sejumlah energi, elektron-elektron yang berada pada keadaan dasar akan tereksitasi menuju kulit yang lebih tinggi dengan tingkat energi yang lebih tinggi. Elektron yang tereksitasi dapat kembali keadaan dasar atau mengimisi dengan memancarkan sejumlah energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang (λ) tertentu. Logam alkali memiliki warna nyala yang khas, berikut : warna nyala logam alkali:



Gambar 9.1. Warna Khas Nyala Logam Alkali

9.2.4 Sifat Fisika Logam Alkali

Secara umum, logam alkali ditemukan dalam bentuk padat, kecuali sesium yang berbentuk cair. Padatan logam alkali sangat lunak seperti sabun atau lilin sehingga dapat diiris menggunakan pisau. Hal ini disebabkan karena logam alkali hanya memiliki satu elektron pada kulit terluarnya. Beberapa sifat fisik logam alkali seperti yang tertera di bawah ini.

Tabel 9.1. Sifat Fisika Logam Alkali

Unsur	Jari-jari Atom (Å)	Keelektro negatifan	Energi Ionisasi (kJ/mol)	Potensial reduksi (Volt)	Kerapatan (g/mL)	Titik Didih (°C)	Titik Leleh (°C)
Li	1,52	0,98	520,2	-3,045	0,534	1.347	180,54
Na	1,86	0,93	495,8	-2,7109	0,971	903,8	97,81
K	2,27	0,82	418,8	-2,924	0,862	774	63,65
Rb	2,47	0,82	403,0	-2,925	1,532	688	38,89
Cs	2,65	0,79	375,7	-2,923	1,878	678,4	28,40

9.2.5 Kegunaan Logam Alkali

1. Sebagai pendingin pada reaktor nuklir, dimana Na menyerap panas dari reaktor nuklir kemudian Na panas mengalir melalui saluran menuju reservoir yang berisi air. Selanjutnya air dalam reservoir menguap dan uapnya dialirkan pada pembangkit listrik tenaga uap.
2. Unsur kalium sangat penting bagi pertumbuhan. Tumbuhan membutuhkan garam-garam kalium, tidak sebagai ion K^+ sendiri, tetapi bersama-sama dengan ion Ca^{2+} .
3. Litium digunakan untuk membuat baterai.
4. Rubidium (Rb) dan Cesium (Cs) digunakan sebagai permukaan peka cahaya dalam sel fotolistrik yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik.

5. Li_2CO_3 digunakan untuk pembuatan beberapa jenis peralatan gelas dan keramik.

9.3 Logam Golongan 2

Logam golongan 2 disebut juga logam-logam alkali tanah. Logam alkali tanah terdiri dari 6 unsur yang terdapat di golongan IIA, dimana bersifat basa dan banyak ditemukan dalam mineral tanah. Yang termasuk ke dalam unsur-unsur golongan IIA yaitu: Berilium (Be), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Stronsium (Sr), Barium (Ba), dan Radium (Ra).



Gambar 9.2. Unsur-unsur Logam Alkali Tanah

Logam alkali tanah umumnya reaktif, tetapi kurang reaktif jika dibandingkan dengan logam alkali. Unsur alkali tanah memiliki reaktifitas tinggi, sehingga tidak ditemukan dalam bentuk monoatomik, unsur ini mudah bereaksi dengan oksigen, dan logam murni yang ada di udara, membentuk lapisan luar pada oksigen. Disebut logam karena memiliki sifat-sifat seperti logam. Disebut alkali karena mempunyai sifat alkalin atau basa jika direaksikan dengan air. Dan istilah tanah karena oksidasinya sukar larut dalam air, dan banyak ditemukan dalam bebatuan di kerak bumi.

Tiap logam memiliki konfigurasi elektron sama seperti gas mulia, setelah ditambah 2 elektron pada lapisan kulit S paling luar. Contoh konfigurasi elektron pada Mg yaitu : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ atau (Ne) $3s^2$. Ikatan yang dimiliki kebanyakan

senyawa logam alkali tanah adalah ikatan ionik. Karena, elektron paling luarnya telah siap untuk dilepaskan, agar mencapai kestabilan.

9.3.1 Sifat-sifat Unsur Alkali Tanah

Kalsium, stronsium, barium, dan radium membentuk senyawa ion bermuatan +2. Magnesium kadang bersifat kovalen dan berilium lebih dominan kovalen. Unsur golongan ini bersifat basa, namun tingkat kebiasaannya lebih lemah. Senyawa $\text{Be}(\text{OH})_2$ bersifat amfoter. Artinya bisa bersifat asam atau pun basa. Sedangkan unsur Ra bersifat Radioaktif.

Tabel 9.2. Sifat Fisika-Kimia Logam Alkali Tanah

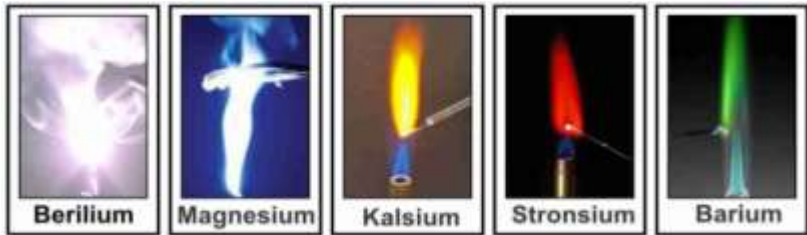
Sifat-sifat	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Titik leleh (°C)	1.278	649	839	769	725
Titik didih (°C)	2.970	1.090	1.484	1.384	1.640
Massa jenis (g/cm ³)	1,85	1,74	1,54	2,6	3,51
Keelektronegatifan	1,5	1,2	1,0	1,0	0,9
Jari-jari ion	0,89	1,36	1,74	1,92	1,98
Potensial reduksi standar (V)	-1,70	-2,38	-2,76	-2,89	-2,90

Logam alkali tanah memiliki jari-jari atom yang besar dan harga ionisasi yang kecil. Dari Berilium ke Barium, nomor atom dan jari-jari atom semakin besar. Selain itu semua logam alkali tanah juga mempunyai kecenderungan teratur mengenai keelektronegatifan yang semakin kecil dan daya reduksi yang semakin kuat.

Titik leleh dan titik didih logam alkali menurun dari atas ke bawah dalam sistem periodik. Hal ini disebabkan oleh jari-jari atom yang bertambah panjang. Energi ionisasi kedua dari unsur-unsur golongan IIA relatif rendah sehingga mudah membentuk kation +2. Akibatnya, unsur-unsur tersebut cukup reaktif.

9.3.2 Warna Nyala Logam Alkali Tanah

Warna nyala logam alkali ini dapat digunakan untuk identifikasi awal adanya logam alkali tanah dalam suatu bahan. Warna-warna yang dihasilkan, nampak pada gambar di bawah ini :



Gambar 9.3. Warna Khas Nyala Logam Alkali Tanah

Kegunaan :

1. Berilium juga bisa digunakan pada kaca dari sinar X, dan dapat mengontrol reaksi fisi pada reactor nuklir.
2. Magnesium dapat memberi warna putih terang pada kembang api dan pada lampu Blitz.
3. Kalsium digunakan pada obat-obatan, bubuk pengembang kue dan plastik.
4. Stronsium dalam senyawa $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ memberikan warna merah apabila digunakan untuk bahan kembang api.
5. BaSO_4 digunakan untuk memeriksa saluran pencernaan karena mampu menyerap sinar X meskipun beracun.

9.4 Logam Golongan 12

Sulfida logam golongan 12 (zink, kadmium, merkuri) merupakan bahan baku dalam metalurgi. Logam-logam ini terletak persis setelah logam transisi tapi tidak berkelakuan seperti logam transisi karena orbitalnya *d*-nya penuh.

A. Sumber dan Kelimpahan

Logam Zink (Zn)

Zink atau Seng merupakan unsur kimia dengan lambang kimia Zn, bernomor atom 30, dan massa atom relatif 65,39. Kelimpahan Seng pada kerak bumi adalah 76 ppm (0,007%), dengan urutan ke-24 di kerak bumi.



Gambar 9.4. Logam Zink (Zn)

Unsur ini biasanya ditemukan bersama dengan logam-logam lain seperti tembaga dan timbal dalam bijih logam. Bijih utama seng paling banyak diperoleh dari ZnS (dikenal sebagai zink blende di Eropa dan sebagai sfalerit di Amerika Serikat).

Logam Cadmium (Cd)

Cadmium dalam tabel periodik memiliki lambang Cd dan nomor atom 48. Cd ditemukan di Jerman pada tahun 1817 oleh Friedrich Strohmeyer. Kelimpahan Cadmium pada kerak bumi adalah 0.16 ppm. Cadmium biasa dihasilkan bersamaan ketika bijih zink, tembaga, dan timbal direduksi.



Gambar 9.5. Logam Cadmium (Cd)

Logam Merkuri (Hg)

Raksa merupakan logam dengan ikatan metalik terlemah di antara semua logam, dan satu-satunya logam berfase cair pada temperatur kamar. Kelimpahan raksa di

muka bumi menempati di urutan ke-67 di antara elemen lainnya pada kerak bumi, yaitu sebanyak 0,08 ppm.

Raksa jarang ditemukan dalam bentuk bebas di alam tetapi berupa bijih *cinnabar* (HgS). Di alam, raksa (Hg) ditemukan dalam bentuk unsur raksa (Hg^0), raksa monovalen (Hg^{1+}), dan bivalen (Hg^{2+}).



Gambar 9.6. Logam Merkuri (Hg)

Raksa di atmosfer sebagian besar berasal dari limbah industri yang melepaskan gas/uap raksa ke atmosfer, kemudian terdeposisi kembali ke permukaan bumi bersamaan dengan proses presipitasi (hujan). Pelindian raksa yang ada di kerak bumi juga terjadi bersamaan dengan aliran air hujan di permukaan bumi dan juga akibat aliran air permukaan maupun air tanah yang melewati endapan *sinnabar* (HgS). Begitu raksa mencapai permukaan tanah, raksa akan diikat menjadi raksa organik dan anorganik di dalam tanah, misalnya HgCl .

Sifat Fisika dan Kecenderungan Logam Golongan 12

Logam-logam golongan ini dan logam-logam golongan alkali tanah mempunyai konfigurasi elektron terluar yang sama, yaitu elektron valensi ns^2 . Perbedaan antara kedua golongan ini adalah, bahwa untuk periode yang sama logam-logam golongan 12 memiliki elektron penuh $(n-1)d^{10}$ sedangkan pada logam-logam golongan 2 tidak memiliki elektron penuh $(n-1)d^0$. Oleh karena itu dalam beberapa hal logam-logam pada golongan 12 mempunyai kemiripan sifat kimiawi dengan logam-logam golongan 2. Maka dari

itu sering dipertimbangkan sebagai golongan unsur utama atau representatif.

Tabel 9.3. Sifat Fisika-Kimia Logam Golongan 12

No	Sifat-sifat	Zn	Cd	Hg
1.	Nomor atom	30	48	80
2.	Warna logam	Abu-abu muda kebiruan	Putih perak	Putih keperakan
3.	Fase	Padat	Padat	Cair
4.	Massa jenis	7,14 g/cm ³	8,65 g/cm ³	13,534 g/cm ³
5.	Konfigurasi elektron	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Kr]4d ¹⁰ 5s ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²
6.	Titik leleh, °C	419,6	320,9	-38,87
7.	Titik didih, °C	907	765	357
8.	Jari-jari atom (bilangan koordinasi 12)pm	134	151	151
9.	Jari-jari ionik, M ²⁺ pm	74	95	102 119 (M ⁺)
10.	Energi ionisasi, kJ/mol Pertama	906,1	876,5	1007

Kegunaan Logam Golongan 12

Zink (Zn)

1. Seng oksida (ZnO) digunakan sebagai zat warna putih pada cat, antioksidan pada pembuatan ban mobil, antiseptik, senyawa penguat dalam karet, pigmen, kosmetik, mineral untuk makanan, fotokonduktor dalam mesin fotokopi.
2. Seng sulfida (ZnS) untuk melapisi tabung layar televisi, sebagai bahan fotokonduktor, semikonduktor, cat luminensi, industri pigmen dan lampu pendar, layar sinar-X dan televisi, serta lampu fluorescence.

Cadmium (Cd)

1. Digunakan untuk melapisi beberapa logam, seperti besi atau baja, juga dapat digunakan sebagai campuran dengan timbal, timah dan bismut pada pembuatan logam yang mudah melebur, untuk digunakan pada alarm pemadam api, kawat sekring dan lain-lain.
2. Garam-garam kadmium digunakan dalam fotografi, pada pembuatan petasan, kembang api, cat fluoresensi, kaca dan porselin.

Merkuri (Hg)

1. Digunakan sebagai cairan pengisi termometer, karena mempunyai sifat pemuaian yang teratur.
2. Digunakan sebagai campuran pada pembuatan amalgam.

9.5 Logam Golongan 13

Logam golongan 13 terdiri atas unsur-unsur Aluminium, Galium, Indium dan Talium. Dari semua unsur golongan ini, boron merupakan satu-satunya unsur nonlogam dan diklasifikasikan sebagai unsur semilogam. Golongan 13 umumnya membentuk senyawa dengan tingkat oksidasi +3, namun Ga, In, Tl dapat juga membentuk tingkat oksidasi lainnya yaitu +1. Ga dan In lebih dominan dengan tingkat oksidasi +1.

1. Sumber dan kelimpahan

Aluminium

Nama aluminium diturunkan dari kata alum yang menunjuk pada senyawa garam rangkap $Ka(SO_4) \cdot 12H_2O$. Kata ini berasal dari bahasa latin alumen yang artinya garam pahit di temukan oleh Humphry davy.

Aluminium sangat melimpah pada kulit bumi, yaitu sekitar 7,6 %. Dengan kelimpahan sebesar itu, aluminium merupakan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon, serta merupakan unsur logam yang paling melimpah tetapi tidak ditemukan dalam bentuk unsur bebasnya di alam. Mineral aluminium yang bernilai ekonomis adalah bauksit yang merupakan satu-satunya sumber aluminium.



Gambar 9.7. Aluminium Foil

Galium (Ga)

Ditemukan oleh Paul Lecoq de Boisbaudran pada tahun 1875. Galium terdapat dalam jumlah yang sangat sedikit di alam, yaitu dalam bentuk bauksit, pirit, magnetit zink blende dan kaolin. Kelimpahan Galium dalam kulit bumi sebesar 15 ppm. Bijih Galium (Ga) sangat langka tetapi Galium (Ga) terdapat di logam-logam yang lain. Di alam, galium juga terdapat dalam bentuk galit (CuGaS_2). Galium mempunyai dua isotop stabil yaitu galium 69 dan galium 71. Delapan isotopnya bersifat radioaktif dengan waktu paruh yang pendek. Galium merupakan benda padat yang mudah rapuh pada suhu rendah namun mencair lebih lambat di atas suhu kamar dan akan melebur ditangan. Terbentuk dalam jumlah sedikit di dalam bauksit dan bijih seng. Galium memiliki tekanan uap rendah pada suhu tinggi. Ada tendensi yang kuat untuk galium menjadi super dingin dibawah titik bekunya.



Gambar 9.8. Logam Galium

Indium

Ditemukan oleh Ferdinand Reich dan Hieronymous Richter pada tahun 1863. Logam lunak, mudah dibentuk dan berwarna putih perak. Dengan kelimpahan yang sedikit. Tidak pernah ditemukan dalam bentuk logam bebas di alam, tetapi dalam bentuk sulfida (In_2S_3) dan dalam bentuk campuran seng, serta biji tungsten, timah dan besi.



Gambar 9.9. Logam Indium

Talium

Ditemukan oleh William Crookes pada tahun 1861 dan secara terpisah oleh Claude August pada tahun 1862. Thalium adalah unsur kimia dengan simbol Tl dan mempunyai nomor atom 81. Thalium termasuk logam yang kelimpahannya sedikit. Logam lunak, mudah ditempa dan berwarna biru keabu-abuan. Di alam terdapat dalam batu batuan dan merupakan keluarga logam alumunium yang terdapat dalam bentuk gabungan dengan pirit, campuran seng dan hematit, tapi ada kalanya juga dapat di ekstrak dari lumpur yang produksi pada proses pembuatan asam sulfat. Thalium kelihatannya seperti logam yang berkilauan tetapi ketika bersentuhan dengan udara, thalium dengan cepat memudar menjadi warna kelabu kebiru-biruan yang menyerupai timbal.



Gambar 9.10. Logam Thalium

2. Sifat Fisika dan Kimia Logam Golongan 13

Golongan 13 terdiri dari unsur-unsur boron, aluminium, galium, indium, dan talium. Dari semua unsur golongan ini, boron merupakan satu-satunya unsur nonlogam dan diklasifikasikan sebagai unsur semilogam.

Tabel 9.4. Sifat-sifat Fisik Golongan 13

Karakteristik	$_{13}\text{Al}$	$_{31}\text{Ga}$	$_{49}\text{In}$	$_{81}\text{Tl}$
Konfigurasi elektronik	$[_{10}\text{Ne}] 3s^2 3p^1$	$[_{18}\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^1$	$[_{36}\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^1$	$[_{54}\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^1$
Titik leleh / $^{\circ}\text{C}$	660	30	157	303
Titik didih / $^{\circ}\text{C}$	2467	2403	2080	1457
Densitas / g cm^{-3}	2,73	5,9	7,3	11,5
Jari-jari atomik/pm	143	122	163	170
Jari-jari ionik, M^{3+}/pm	51	62	76	95 (Tl^+ , 147)
Energi ionisasi/kJ mol^{-1}				
I	577,6	578,8	558,3	589,3
II	1816,7	1979	1820,6	1971,0
III	2744,8	2963	2705	2878
Elektronegativitas	1,5	1,8	1,5	1,4
E° / V $\text{M}^{3+} + 3\text{e} \rightarrow \text{M}_{(\text{s})}$	-1,66	-0,53	-0,343	-0,719
Tingkat oksidasi	+3	(+1), +3	(+1), +3	+1, (+3)

Unsur-unsur dari golongan ini juga membentuk ikatan kovalen. Boron yang bersifat semilogam, cenderung membentuk ikatan kovalen. Namun ikatan kovalen juga umum terjadi pada unsur-unsur metalik dalam golongan ini. Hal ini dikaitkan dengan tingginya muatan (+3) dan pendeknya jari-jari tiap ion logam yang bersangkutan sehingga menghasilkan densitas muatan positif yang sangat tinggi, yang pada gilirannya mampu mempolarisasi setiap anion yang mendekatinya untuk membentuk ikatan kovalen. Dalam keadaan larutan, semua ion unsur golongan 13 berada dalam keadaan terhidrat.

Kestabilan keadaan ionik golongan 13 ini berkaitan dengan terjadinya hidrasi ion logam yang bersangkutan. Sifat elektropositif golongan 13 berkurang dari aluminium ke talium karena adanya orbital d pada unsur-unsur dengan nomor atom yang besar (galium, indium, dan thallium). Pengisian elektron pada orbital terluar unsur-unsur tersebut terjadi setelah orbital d terisi penuh. Elektron-elektron dalam orbital d ini kurang dapat melindungi secara efektif elektron orbital terluar dari tarikan inti, sehingga elektron orbital terluar dalam unsur tersebut terikat cukup kuat dan dengan demikian sifat-sifat elektropositifnya menjadi makin rendah.

Galium dan indium juga sangat stabil di udara dan tidak bereaksi dengan air, kecuali jika di dalamnya terdapat oksigen bebas. Talium sedikit lebih reaktif dan dapat teroksidasi di udara. Galium dan indium, sama halnya seperti aluminium, larut dalam NaOH cair. Pada temperatur kamar, galium adalah padatan lembut seperti timbal dan dapat dipotong dengan pisau. Namun, titik lelehnya 30°C (lebih rendah dari temperatur tubuh manusia), sehingga jika kita pegang, galium akan meleleh. Galium dapat berdifusi ke lapisan logam sehingga dapat melunakkan logam lain seperti aluminium, besi, dan lain-lain. Jika memadat, galium mengembang hingga 3,1% dan dengan demikian penyimpanan dalam gelas atau logam dihindari. Talium larut dengan lambat hanya dalam asam sulfat atau asam klorida, karena garam Tl_1 yang terbentuk hanya sedikit larut. Unsur-unsur ini bereaksi cepat pada suhu ruangan,

dengan pemanasan, dengan halogen dan juga dengan nonlogam seperti sulfur.

3. Kecenderungan sifat logam golongan 13

Jari-jari logam cenderung berkurang dari Ga- Tl, kecuali logam Al (anomali). Jari-jari ion cenderung meningkat dari Al-Tl. Energi ionisasi pertama unsur golongan 13 cenderung berkurang dari Al-Tl. Keelektronegatifan unsur golongan 13 cenderung bertambah dari Al-Tl. Titik leleh unsur golongan 13 cenderung bertambah dari Ga-Tl, kecuali Al memiliki titik leleh besar. Titik didih unsur golongan 13 cenderung berkurang dari Ga-Tl. Kerapatan unsur golongan 13 cenderung bertambah dari Ga-Tl. Potensial reduksi negatif menyatakan bahwa unsur lebih bersifat logam dibandingkan hidrogen. Energi pengionan dari logam golongan 13 hampir sama satu sama lain, kecuali energi hidrasi Al^{3+} merupakan yang terbesar di antara kation golongan 13 lain. Hal ini menjelaskan bahwa Al^{3+} mempunyai potensial reduksi negatif yang paling besar di antara kation golongan 13 lain dan bahwa Al adalah logam yang paling aktif. Sifat menarik dari unsur Ga, In, dan Tl yang tidak terdapat pada Al adalah kemampuan membentuk ion bermuatan (+1). Kemampuan ini menunjukkan adanya pasangan elektron lembam atau unsur pasca-peralihan (post-transition). Jadi, sebuah atom Ga dapat kehilangan elektron pada 4p dan mempertahankan elektron 4s untuk membentuk ion Ga^+ , dengan konfigurasi elektron $[\text{Ar}]3d^{10}4s^2$. Kemungkinan ini lebih mudah terjadi pada atom yang lebih berat dalam suatu golongan. Pada kenyataannya, Thallium dengan bilangan oksidasi +1 lebih mantap dalam larutan berair dibanding Thallium dengan bilangan oksidasi +3. Ukuran ion yang kecil, besarnya muatan ion, dan tingginya energi ionisasi menyebabkan logam golongan 13 umumnya memiliki sifat kovalen yang tinggi (ion Al^{3+} tidak dijumpai kecuali dalam AlF_3 padat). Dalam larutan berair, ion Al^{3+} berada dalam bentuk ion terhidrat $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ atau dalam bentuk kompleks lainnya. Al sangat stabil terhadap udara, karena membentuk lapisan

oksida pada permukaannya yang digunakan untuk melindungi logam dari oksidasi lebih lanjut.

4. Kegunaan

a. Kegunaan unsur aluminium

- 1) Otomobil, pesawat terbang, truck, rel kereta api, kapal laut, sepeda, Pengemasan (kaleng, foil), konstruksi (jendela, pintu, dll)
- 2) Aluminium digunakan pada produksi jam tangan karena aluminium memberikan daya tahan dan menahan pemudaran dan korosi.

b. Kegunaan unsur gallium

- 1) Cermin yang cemerlang, termometer bertemperatur tinggi.
- 2) GaAs = semikonduktor terutama dalam dioda pemancar cahaya

c. Kegunaan unsur indium

- 1) Komponen elektronik lainnya (thermistor dan fotokonduktor)
- 2) Cermin yang memantul (cermin perak dan tidak cepat pudar), LED (Light Emitting Diode).

d. Kegunaan unsur thalium

- 1) Kilauan alat pendeteksi barang pada mesin hitung di supermarket, pendeteksi inframerah.
- 2) Racun tikus dan insektisida, tetapi penggunaannya dilarang oleh banyak negara.

9.6 Logam Golongan 14 dan 15

Unsur-unsur logam golongan 14 dan 15 dalam Sistem Periodik Unsur terdiri atas unsur Germanium (Ge), Timah (Sn), Timbal (Pb), dan Bismut (Bi). Pada umumnya unsur-unsur golongan ini tidak ditemukan bebas di alam melainkan dalam bentuk senyawaan.

Mineral germanium merupakan salah satu unsur yang sangat langka, tetapi unsur ini didistribusikan dalam jumlah luas (seperti Ga). Mineral germanium diperoleh dari abu batubara tetapi sekarang biasanya dari gas limbah pengolahan bijih seng. Timah umumnya terdapat di kasiterit SnO_2 , dan timah menjadi satu-

satunya sumber penting dari unsur sejak dahulu. Unsur timbal merupakan unsur yang paling melimpah diantara unsur logam golongan 14 dan 15, yaitu sebesar 13 ppm. Bismuth biasanya ditemukan sebagai bismut ($\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$), bismutinit (Bi_2S_3), bismutit [$(\text{BiO})_2\text{CO}_3$], dan sangat jarang ditemukan dalam bentuk aslinya. Dalam keadaan unsur bebasnya golongan 14 dan 15 dapat bereaksi dengan hidrogen, halogen, oksigen, dan senyawanya. Sedangkan dalam bentuk garam-garamnya, unsur-unsur ini biasanya larut dalam air. Unsur-unsur tersebut tentunya memiliki kegunaan tersendiri dalam kehidupan dan memiliki sifat/ karakteristik masing-masing.

A. Sejarah Penemuan Logam Golongan 14 dan 15

Germanium (Ge)

Keberadaan Germanium diprediksi oleh ilmuwan kimia Dimitri Mendeleev pada 1869, setelah dia mengembangkan tabel periodik unsur, berdasarkan penjelasan kimiawi. Menyusun unsur-unsur menurut massa atom menyisakan jarak kosong pada tabel. Mendeleev berteori bahwa ada beberapa unsur yang belum ditemukan, termasuk unsur ke 32. Pada tahun 1885, Clemens Winkler, seorang Kimiawan Jerman menemukan apa yang disebut eka-silikon pada bijih argyrodite. Bijih tersebut mengandung perak, belerang, oksida besi, seng dan kira-kira 7% logam yang belum diketahui.

Germanium adalah unsur kimia dengan simbol Ge dan nomor atom 32. Germanium adalah metaloid berkilau, keras, berwarna abu-abu keputihan dalam golongan karbon, secara kimiawi bersifat sama dengan unsur segolongannya timah dan silikon. Germanium murni adalah semikonduktor, dengan penampilan hampir sama dengan unsur silikon. Germanium, sama halnya dengan silikon, secara alamiah bereaksi dan membentuk senyawa kompleks dengan oksigen di alam. Berkebalikan dengan silikon, germanium terlalu reaktif untuk ditemukan secara alami di Bumi dalam bentuk bebasnya.

Timah (Sn)

Timah dalam bahasa Inggris disebut sebagai Tin dengan symbol kimia Sn. Nama latin dari timah adalah "Stannum"

dimana kata ini berhubungan dengan kata “stagnum” yang dalam bahasa Inggris bersinonim dengan kata “dripping” yang artinya menjadi cair/basah, penggunaan kata ini dihubungkan dengan logam timah yang mudah mencair.

Timah putih merupakan salah satu logam yang dikenal dan digunakan paling awal. Ditemukan pada masa sebelum Masehi dan tidak diketahui siapa orang yang pertama kali menemukan Timah. Timah tidak ditemukan dalam unsur bebasnya di bumi, akan tetapi diperoleh dari senyawanya yaitu SnO_2 . Timah pada saat ini diperoleh dari mineral cassiterite atau tinstone. Cassiterite adalah mineral timah oksida dengan rumus SnO_2 . Berbentuk kristal dengan banyak permukaan mengkilap sehingga tampak seperti batu perhiasan. Kristal tipis Cassiterite tampak translusen. Cassiterite adalah sumber mineral untuk menghasilkan logam timah yang utama. Cassiterite banyak ditemukan dalam deposit alluvial/alluvium yaitu tanah atau sediment yang tidak berkonsolidasi membentuk bongkahan batu dimana dapat mengendap di dasar laut, sungai, atau danau.

Timbal (Pb)

Timbal dalam bahasa Inggris disebut sebagai “Lead” dengan simbol kimia “Pb”. Simbol ini berasal dari nama latin timbal yaitu “Plumbum” yang artinya logam lunak. Logam timbal telah dipergunakan oleh manusia sejak ribuan tahun yang lalu (sekitar 6400 SM) hal ini disebabkan logam timbal terdapat diberbagai belahan bumi, selain itu timbal mudah di ekstraksi dan mudah dikelola. Unsur ini telah lama diketahui dan disebutkan di kitab Exodus.

Para alkemi mempercayai bahwa timbal merupakan unsur tertua dan diasosiasikan dengan planet Saturnus. Timbal didapatkan dari galena (PbS) dengan proses pemanggangan. Timbal tidak ditemukan bebas di alam akan tetapi biasanya ditemukan sebagai biji mineral bersama dengan logam lain misalnya seng, perak, dan tembaga. Sumber mineral timbal yang utama adalah “Galena (PbS)” yang mengandung 86,6% Pb dengan proses pemanggangan, “Cerussite (PbCO_3)”, dan

“Anglesite”(PbSO₄). Timbal organik ditemukan dalam bentuk senyawa Tetra Ethyl Lead (TEL) dan Tetra Methyl Lead (TML).

Bismuth (Bi)

Bismut adalah suatu unsur kimia yang memiliki lambang Bi dan nomor atom 83. Logam dengan kristal trivalen ini memiliki sifat kimia mirip dengan arsen dan antimoni. Dari semua jenis logam, unsur ini paling bersifat diamagnetik dan merupakan unsur kedua setelah raksa yang memiliki konduktivitas termal terendah. Senyawa bismut bebas timbal sering digunakan sebagai bahan kosmetik dan dalam bidang medis. Bismut (berasal dari bahasa latin *bisemutun*, dari bahasa Jerman *Wismuth*). Pada awalnya membingungkan dengan timah dan timbal dimana bismut mempunyai kemiripan dengan elemen itu. Basilius akhirnya menjelaskan sebagian sifatnya di tahun 1450. Claude Francois Geoffroy menunjukkan di tahun 1753 bahwa logam ini berbeda dengan timbal.

Di dalam kulit bumi, bismut kira-kira dua kali lebih berlimpah dari pada emas. Biasanya tidak ekonomis bila menjadikannya sebagai tambang utama. Melainkan biasanya diproduksi sebagai sampingan. Pemrosesan biji logam lainnya misalnya timbal, tungsten dan campuran logam lainnya.

B. Sumber dan Kelimpahan Germanium (Ge)

Unsur ini pertama kali ditemukan oleh C. A. Winkler pada tahun 1886 selama analisis dari mineral baru dan langka “*argyrodite*” (Ag₈GeS₆). Dia menamakannya germanium dengan tujuan untuk menghormati negaranya, Jerman. Kelimpahan Germanium di kerak bumi hanya 1,8 ppm. Germanium diperoleh dari abu batubara tetapi sekarang biasanya dari gas limbah pengolahan bijih seng. Karena sangat sedikit mineral yang berkandungan tinggi, germanium ditemukan cukup terlambat dalam sejarah kimia. “Logam” germanium (germanium terisolasi) dipakai sebagai semikonduktor di dalam transistor dan berbagai perangkat elektronik lainnya.

Germanium tidak dianggap sebagai unsur yang esensial untuk semua organisme hidup.

Timah (Sn)

Sumber utama timah (Sn) di alam adalah mineral *cassiterite* (SnO₂). Kelimpahan timah di kerak bumi yaitu 2,1 ppm.

Timbal (Pb)

Timbal disebut juga dengan timah hitam. Kelimpahan timbal di kerak bumi cukup besar yaitu 13 ppm. Sumber utama timbal (Pb) yaitu mineral galena yang hitam dan berat (PbS). Selain itu juga timbal ditemukan dalam beberapa mineral lain seperti anglesit (PbSO₄), kerusit (PbCO₃), piromorfit (Pb₅(PO₄)₃Cl) dan mimetesit (Pb₅(AsO₄)₃Cl)).

Bismuth (Bi)

Kelimpahan bismut di kerak bumi hanya 0,008 ppm. Bismut biasanya ditemukan sebagai bismut (α -Bi₂O₃), bismutinit (Bi₂S₃), bismutit [(BiO)₂CO₃].

C. Sifat Fisika dan Kimia

Tabel 9.5. Sifat-sifat Fisik Golongan 13

Sifat	Logam golongan 14			Logam golongan 15
	Ge	Sn	Ge	Sn
Nomor atom	32	50	82	83
Berat atom	72,61	118,710	207,2	208,98
Titik leleh/°C	945	232	327	544
Titik didih/°C	2850	2623	1751	1837
Struktur kristal	Fcc	Tetragonal	Fcc	Heksagonal
Densitas (20°C)/g cm ⁻³	5,323	5,769	11,342	9,8
Jari-jari atom/pm	125	141	175	155
Energi ionisasi pertama/kJ mol ⁻¹	761,2	708,4	715,4	703,3
Energi ionisasi kedua/kJ mol ⁻¹	1537	1411,4	1450	1610

Keelektronegatifan	1,8	1,8	1,9	1,9
Tingkat oksidasi *tanda kurung menunjukkan lebih stabil	+2,(+4)	(+2,+4)	(+2),+4	(+3), +5

Kecenderungan titik didih dan titik leleh dalam golongan 14 dari atas ke bawah semakin rendah, namun titik leleh timbal lebih tinggi daripada titik leleh timah ini dikarenakan timah memiliki struktur kristal tetragonal yang merupakan susunan kemas tidak rapat, sedangkan timbal memiliki struktur kristal *fcc*(kubus berpusat muka) yang merupakan susunan kemas rapat. Susunan kemas kristal yang semakin rapat menyebabkan titik leleh yang semakin tinggi.

Pada logam timbal energi ionisasinya lebih besar dari pada timah, hal ini disebabkan karena adanya efek perisai yang buruk pada logam timbal, dimana pada logam Pb memiliki konfigurasi elektron $[54\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$ sedangkan Sn memiliki konfigurasi elektron $[36\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^2$. Dari konfigurasi elektron tersebut dapat kita lihat bahwasannya pada logam Pb memiliki konfigurasi elektron pada $4f^{14}$ dan seperti yang kita ketahui bahwasanya orbital “f dan d” merupakan efek perisai yang sangat buruk. Namun perlu kita tinjau kembali, bahwasanya pada logam Sn elektron tidak mengisi orbital hingga pada orbital “f” dan Sn hanya mengisi hingga orbital “d” saja, sedangkan pada logam Pb elektronnya mengisi hingga orbital “f” (efek perisai paling buruk). Pada timbal, elektron pada orbital f kurang efektif melindungi elektron valensi dari tarikan inti, sehingga elektron valensi terikat lebih kuat dan sulit dilepaskan akibat semakin tertarik dengan inti, dan energi ionisasi yang dibutuhkan untuk melepaskan elektron valensi semakin tinggi. Germanium bersifat rapuh, kristalnya berkilau dengan warna abu-abu keputihan dengan struktur berlian. Germanium dalam senyawanya dapat memiliki tingkat oksidasi +2 dan +4. Tingkat oksidasi +4 lebih stabil.

Timah merupakan logam lunak, tidak kuat, dan memiliki titik leleh yang rendah (232°C) sehingga mudah ditempa menjadi bentuk piringan. Timah memiliki tiga alotrop yaitu timah abu-abu yang memiliki bentuk kristal kubus, timah putih rapuh dengan bentuk

kristal rombik, dan timah putih lunak dengan bentuk kristal tetragonal. Pada temperatur kamar, timah putih lunak dengan bentuk kristal tetragonal paling stabil, pada temperatur dibawah 13,2°C berubah secara perlahan menjadi serbuk abu-abu amorf (timah abu-abu), dan jika dipanaskan diatas 161°C berubah menjadi timah putih rapuh. Timah dengan konfigurasi elektron $[_{36}\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^2$ dalam senyawa-senyawanya dapat mempunyai tingkat oksidasi +2 dan +4 dan keduanya stabil.

Timbal bersifat lembek-lemah dengan titik leleh 327°C, namun sering disebut sebagai logam berat. Istilah ini digunakan karena timbal memiliki densitas yang sangat besar yaitu 11,342 g cm⁻³ jauh lebih tinggi daripada kerapatan tertinggi bagi logam transisi pertama yaitu 8,92 gram/cm³ untuk tembaga. Timbel memiliki konfigurasi elektron $[_{54}\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$ dalam senyawa-senyawanya dapat mempunyai tingkat oksidasi +2 dan +4. Tingkat oksidasi +2 lebih stabil.

Ge, Sn dan Pb juga memiliki sifat katenasi meskipun kurang daripada C dan Si. Hal ini dapat dilihat dari energi ikatan yang dapat dilihat bahwa ada penurunan signifikan dalam kekuatan ikatan M-M.

Bismut adalah logam golongan utama yang memiliki nomor atom tertinggi, mempunyai sifat metalik paling rendah, rapuh, berwarna putih kemerahan. Bismut memiliki beberapa alotrop, sruktur yang paling stabil pada temperatur kamar tersusun oleh jaringan heksagonal berkerut dengan setiap atom terikat oleh tiga atom lain terdekat dan tiga atom lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Cotton, F. Albert, Geoffrey Wilkinson, and Paul L.Gaus. 1987. *Basic Inorganic Chemistry Second Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Greenwood, N.N. 1997. *Chemistry of The Elements*. United Kingdom: Pergamon Press.
- Petrucci, Ralph H. 2007. *Kimia Dasar Prinsip-Prinsip dan Aplikasi Modern Edisi Kesembilan*. Jakarta: Erlangga.
- Sugiyarto, Kristian H. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Suyanta. 2013. *Buku Ajar Kimia Unsur*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

BAB 10

SENYAWA ANORGANIK UTAMA

Oleh Khoirul Ngibad

10.1 Pendahuluan

Senyawa anorganik diartikan sebagai senyawa kimia yang tidak mengandung karbon (C). Namun, unsur karbon (C) (sebagai grafit atau intan) dan senyawa karbon dan, misalnya, nitrogen, oksigen, atau silikon juga diklasifikasikan sebagai anorganik. Contoh senyawa anorganik tersebut meliputi karbon monoksida (CO), silikon karbida (SiC), dan asam karbonat (H_2CO_3), dan garamnya (Garcke et al., 2013). Karakteristik senyawa anorganik antara lain:

1. Tidak adanya ikatan C-H

Senyawa anorganik ditentukan oleh tidak adanya ikatan karbon-hidrogen (C-H), yang membedakannya dari senyawa organik.

2. Sifat polar

Banyak senyawa anorganik larut dalam air dan bersifat polar karena ikatan kovalen ionik atau polarnya.

3. Volatilitas rendah

Secara umum senyawa anorganik memiliki volatilitas yang rendah sehingga tidak mudah menguap.

4. Sifat mudah terbakar

Umumnya tidak mudah terbakar sehingga aman untuk berbagai aplikasi.

5. Titik leleh tinggi

Senyawa anorganik, khususnya senyawa ionik, seringkali memiliki titik leleh tinggi, yang menunjukkan gaya antarmolekul yang kuat.

Contoh senyawa anorganik mencakup berbagai zat, termasuk garam, mineral, logam, dan berbagai bahan kimia yang digunakan dalam industri dan penelitian. Contoh umum termasuk natrium klorida, kalsium karbonat, dan asam sulfat.

Dalam kimia, senyawa secara luas dikategorikan sebagai senyawa organik atau senyawa anorganik, masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda. **Tabel 10.1** menyajikan perbedaan antara senyawa organik dan anorganik berdasarkan pembedanya.

Tabel 10.1. Perbedaan senyawa organik dan anorganik

No	Pembeda	Senyawa organik	Senyawa anorganik
1	Kehadiran atom karbon	Dicirikan oleh adanya atom karbon yang terikat pada hidrogen dan unsur lainnya yang menunjukkan ikatan kovalen dan biasanya berhubungan dengan organisme hidup	Tidak memiliki ikatan karbon-hidrogen (C-H) dan mencakup berbagai zat, termasuk mineral, logam, dan garam.
2	Asal biologis	Sering dikaitkan dengan proses biologis dan merupakan bahan penyusun kehidupan yang menjadi dasar karbohidrat, protein, lipid, dan asam nukleat	Biasanya tidak terkait dengan proses biologis dan umumnya ditemukan pada benda mati, seperti: mineral dan batuan
3	Sifat ikatan	Menunjukkan ikatan kovalen yang dominan, di mana elektron dibagi antar atom	Dapat memiliki berbagai jenis ikatan, termasuk ionik, kovalen, dan logam, tergantung pada senyawa spesifiknya
4	Kelarutan	Banyak yang tidak	Cenderung larut dalam

No	Pembeda	Senyawa organik	Senyawa anorganik
		larut dalam air dan seringkali larut dalam pelarut organik	air karena sifat ionik atau kovalen polarnya
5	Contoh	Gula, protein, hidrokarbon, dan DNA	Natrium klorida, kalsium karbonat, dan asam sulfat

Kimia anorganik merupakan cabang ilmu kimia yang didedikasikan untuk mempelajari senyawa anorganik, memiliki sejarah yang kaya dan beragam. Berikut adalah sejarah pengembangan kimia anorganik dalam ilmu kimia (Tolman et al., 2021) (Yam, 2015):

1. Asal usul kuno

Sejarah kimia anorganik dapat ditelusuri kembali ke peradaban kuno, khususnya pada Zaman Perunggu (sekitar 3300 SM hingga 1200 SM). Saat ini, manusia sudah mempelajari logam seperti perunggu, tembaga, dan timah, yang menjadi dasar pemahaman zat anorganik.

2. Periode alkimia

Selama Abad Pertengahan dan Renaisans, alkimia merupakan hal yang lazim. Para alkemis bertujuan untuk mengubah logam dasar menjadi logam mulia, namun upaya mereka mengarah pada penemuan dan pemahaman berbagai senyawa anorganik.

3. Munculnya kimia koordinasi

Pada abad ke-19, kimia koordinasi muncul sebagai bidang yang penting. Karya Alfred Werner tentang senyawa koordinasi meletakkan dasar untuk memahami struktur anorganik yang kompleks.

4. Transisi ke kimia anorganik modern

Abad ke-20 menandai transisi ke kimia anorganik modern. Era ini menyaksikan perkembangan senyawa organologam, sintesis bahan anorganik baru, dan eksplorasi aplikasi senyawa anorganik di berbagai industri.

5. Penelitian interdisipliner

Dalam beberapa tahun terakhir, kimia anorganik telah berkembang menjadi penelitian interdisipliner. Sekarang memainkan peran penting dalam bidang-bidang seperti ilmu material, nanoteknologi, dan katalisis.

6. Kontributor Utama:

Tokoh-tokoh terkemuka dalam sejarah kimia anorganik antara lain adalah Alfred Werner, Gilbert N. Lewis, dan Linus Pauling, yang kontribusinya telah sangat memajukan pemahaman kita tentang senyawa anorganik.

Kimia anorganik terus berkembang dan berkembang, berkontribusi terhadap pengembangan material dan teknologi baru. Sejarah bergengsi bidang ini dan sifat interdisiplinernya telah menjadikannya bidang studi yang dinamis di era modern.

10.2 Sifat dan Karakteristik Senyawa Anorganik

10.2.1 Struktur atom senyawa anorganik

Struktur atom senyawa anorganik dimulai dengan inti atom di pusat atom. Inti atom mengandung proton dan neutron yang menentukan massa dan identitas atom. Elektron mengorbit inti pada tingkat energi atau kulit elektron. Elektron bermuatan negatif tersebut menentukan perilaku kimia suatu atom. Dalam senyawa anorganik, elektron sangat penting dalam pembentukan ikatan.

10.2.2 Jenis – jenis ikatan kimia senyawa anorganik

1. Ikatan ionik

Dalam senyawa anorganik, ikatan ionik sering terjadi antara atom dengan keelektronegatifan yang sangat berbeda. Satu atom menyumbangkan elektron (kation) sedangkan atom lainnya menerimanya (anion). Hal tersebut dapat mengakibatkan terbentuknya ion-ion yang saling tarik menarik.

2. Ikatan kovalen

Ikatan kovalen melibatkan pembagian elektron antar atom. Dalam senyawa anorganik, ikatan kovalen dapat terjadi antara dua nonlogam. Pembagian tersebut menciptakan molekul dengan susunan struktural yang berbeda.

3. Ikatan logam

Dalam logam dan beberapa senyawa anorganik, elektron dibagikan secara bebas dalam struktur kisi. "Lautan elektron" tersebut memberikan sifat unik pada logam, termasuk konduktivitas listrik (D. M. Mattox, 2010).

4. Ikatan kovalen koordinasi

Beberapa senyawa anorganik melibatkan ikatan kovalen koordinasi, di mana satu atom menyumbangkan kedua elektron ikatan. Jenis ikatan ini berperan dalam molekul anorganik kompleks (V. Bhatt, 2016).

10.2.3 Sifat fisika senyawa anorganik

1. Wujud/bentuk materi

Senyawa anorganik dapat berbentuk padat, cair, atau gas pada suhu dan tekanan kamar. Misalnya, natrium klorida berbentuk padat sedangkan belerang dioksida berbentuk gas.

2. Titik leleh dan titik didih

Senyawa anorganik seringkali memiliki titik leleh dan titik didih yang tinggi. Senyawa ionik, seperti natrium klorida memiliki gaya elektrostatis yang kuat dan memerlukan energi yang signifikan untuk berubah dari padat menjadi cair atau gas.

3. Kelarutan

Kelarutan senyawa anorganik bervariasi. Beberapa, seperti natrium klorida, mudah larut dalam air, sementara yang lain, seperti perak klorida, sedikit larut.

10.2.4 Sifat kimia senyawa anorganik

1. Ikatan kimia

Senyawa anorganik dapat membentuk berbagai jenis ikatan kimia, termasuk ikatan ionik, kovalen, dan logam, bergantung pada unsur yang terlibat.

2. Reaktivitas

Senyawa anorganik menunjukkan reaktivitas yang beragam. Misalnya, asam dan basa, seperti asam sulfat dan natrium

hidroksida, merupakan senyawa anorganik yang dikenal reaktivitasnya dalam larutan air.

3. Reaksi redoks

Banyak senyawa anorganik berpartisipasi dalam reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Misalnya, hidrogen peroksida dapat bertindak sebagai zat pengoksidasi dan pereduksi.

4. Kimia koordinasi

Senyawa anorganik, khususnya kompleks logam transisi, dapat membentuk senyawa koordinasi dengan struktur dan sifat tertentu.

10.3 Klasifikasi Senyawa Anorganik

Komposisi senyawa anorganik berdasarkan unsur utama yang dikandungnya dibedakan menjadi:

1. Oksida logam

Senyawa anorganik seperti oksida besi (Fe_2O_3) dan aluminium oksida (Al_2O_3) terutama terdiri dari logam yang dikombinasikan dengan oksigen.

2. Logam halida

Senyawa ini melibatkan ikatan logam dengan halogen, seperti: klor, brom, dan yodium. Contoh: natrium klorida (NaCl) dan kalsium klorida (CaCl_2).

3. Asam

Asam anorganik, seperti: asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) tersusun dari: hidrogen, oksigen, dan non-logam.

4. Basa

Basa anorganik, seperti: natrium hidroksida (NaOH) terdiri dari kation logam dan ion hidroksida.

5. Silikat

Mineral silikat terdiri dari silikon dan oksigen, sering dikombinasikan dengan logam lain. Contohnya adalah kuarsa (SiO_2).

6. Logam sulfida

Senyawa anorganik, seperti: besi sulfida (FeS) yang melibatkan kation logam dan ion sulfida.

7. Logam karbonat

Senyawa, seperti kalsium karbonat (CaCO_3) mengandung kation logam dan ion karbonat.

Senyawa organik memainkan peran penting dalam kimia, dan empat kategori utama adalah asam, basa, garam, dan oksida. Ciri – ciri dari masing-masing jenis tersebut adalah sebagai berikut:

1. Asam

Asam adalah zat yang apabila dilarutkan dalam air akan melepaskan ion hidrogen (H^+). Asam dapat dikategorikan menjadi asam kuat (misalnya asam klorida, HCl) dan asam lemah (misalnya asam asetat, CH_3COOH). Asam mempunyai rasa asam, mengubah kertas lakmus biru menjadi merah, dan penting dalam berbagai reaksi kimia dan industri.

2. Basa

Basa adalah zat yang melepaskan ion hidroksida (OH^-) ketika dilarutkan dalam air. Basa dapat diklasifikasikan menjadi basa kuat (misalnya natrium hidroksida, NaOH) dan basa lemah (misalnya amonia, NH_3). Basa mempunyai rasa yang pahit, terasa licin, mengubah kertas lakmus merah menjadi biru, dan berperan dalam penetralan asam.

3. Garam

Garam adalah hasil reaksi kimia antara asam dan basa, yang dikenal sebagai netralisasi. Garam terdiri dari kation bermuatan positif dan anion bermuatan negatif (misalnya natrium klorida, NaCl). Garam memiliki beragam kegunaan, mulai dari bumbu makanan hingga aplikasi dalam bidang industri.

4. Oksida

Oksida adalah senyawa yang terbentuk dari kombinasi oksigen dengan unsur lain. Oksida ini tersedia dalam berbagai bentuk, termasuk oksida asam (misalnya sulfur dioksida, SO_2), oksida basa (misalnya kalsium oksida, CaO), dan oksida amfoter (misalnya aluminium oksida, Al_2O_3). Oksida merupakan komponen penting dari kerak bumi dan penting dalam proses industri.

10.4 Peran dan Aplikasi Senyawa Anorganik

Senyawa anorganik mempunyai beragam aplikasi di berbagai sektor karena sifat unik dan keserbagunaannya. Penerapan senyawa anorganik dalam bidang industri, pertanian, dan bidang lainnya adalah sebagai berikut:

1. Industri

1. Manufaktur bahan kimia

Senyawa anorganik seperti asam sulfat, asam klorida, dan amonia sangat penting untuk produksi bahan kimia dan pembuatan berbagai produk.

b. Metalurgi

Senyawa anorganik sangat penting dalam ekstraksi dan pemurnian logam, seperti besi, aluminium, dan tembaga.

c. Katalis

Katalis anorganik memainkan peran penting dalam industri petrokimia, memungkinkan berbagai reaksi untuk menghasilkan bahan bakar dan bahan kimia.

2. Pertanian (Durán-Lara *et al.*, 2020)

a. Pupuk

Senyawa anorganik seperti amonium nitrat dan kalium fosfat digunakan sebagai pupuk untuk meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen.

b. Pestisida

Pestisida anorganik tertentu, seperti senyawa berbahan dasar tembaga digunakan untuk melindungi tanaman dari hama dan penyakit.

3. Obat-obatan (Jung *et al.*, 2021)

Senyawa anorganik seperti kalsium karbonat digunakan dalam antasida, sedangkan senyawa perak memiliki sifat antimikroba untuk perawatan luka.

4. Pengolahan air (Lim *et al.*, 2022) (Council *et al.*, 1980)

Senyawa anorganik seperti klorin dan ozon digunakan untuk memurnikan air minum dan pengolahan air limbah.

5. Manufaktur semikonduktor

Senyawa anorganik seperti silikon dan galium arsenida merupakan hal mendasar dalam fabrikasi perangkat semikonduktor.

6. Kaca dan keramik (Martin, 2006)

Senyawa anorganik seperti silika, alumina, dan berbagai oksida logam sangat penting untuk produksi kaca dan keramik.

10.5 Analisis Senyawa Anorganik

Teknik analisis kimia yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur senyawa anorganik. Teknik analisis kimia sangat penting dalam mengidentifikasi dan mengukur senyawa anorganik, memberikan wawasan tentang komposisi dan konsentrasinya. Di sini, kami membahas beberapa teknik utama dengan mengacu pada sumber yang kredibel:

1. Spektroskopi Atom

Spektroskopi atom mencakup berbagai metode, termasuk Spektroskopi Serapan Atom (AAS) dan Spektroskopi Emisi Atom-Plasma Berpasangan Induktif (ICP-AES), yang menentukan komposisi unsur senyawa anorganik (Swapna, 2017).

2. Difraksi Sinar-X (XRD)

XRD membantu mengidentifikasi struktur kristal senyawa anorganik dan membantu karakterisasinya (Ali et al., 2022).

3. Spektrometri Massa

Teknik spektrometri massa, seperti ICP-Mass Spectrometry (ICP-MS), digunakan untuk kuantifikasi unsur anorganik secara tepat dalam berbagai jenis sampel (Swapna, 2017).

4. Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR)

FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada senyawa anorganik berdasarkan frekuensi getaran uniknya (Committee, 2021).

Teknik – teknik tersebut mempunyai peran penting dalam berbagai bidang, termasuk pemantauan lingkungan, farmasi, ilmu material, dan pertanian. Dengan menyediakan data yang akurat dan tepat mengenai senyawa anorganik, teknik – teknik tersebut berkontribusi pada pemahaman dan pengendalian sistem kimia yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. 2022. X-ray diffraction techniques for mineral characterization: A review for engineers of the fundamentals, applications, and research directions. *Minerals*, 12(2), 205.
- Bhatt, V. 2016. *Chapter 1 - Basic Coordination Chemistry* (V. B. T.-E. of C. C. Bhatt (ed.); pp. 1–35). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803895-6.00001-X>
- Committee, A. M. 2021. Fourier transform infrared spectroscopic analysis of organic archaeological materials: background paper. In *Analytical Methods*. Royal Society of Chemistry.
- Council, N. R., & Committee, S. D. W. 1980. The disinfection of drinking water. In *Drinking Water and Health: Volume 2*. National Academies Press (US).
- Durán-Lara, E. F., Valderrama, A., & Marican, A. 2020. Natural organic compounds for application in organic farming. *Agriculture*, 10(2), 41.
- Garche, J., Dyer, C. K., Moseley, P. T., Ogumi, Z., Rand, D. A. J., & Scrosati, B. 2013. *Encyclopedia of electrochemical power sources*. Newnes.
- Jung, S.-Y., Hwang, H., Jo, H.-S., Choi, S., Kim, H.-J., Kim, S.-E., & Park, K. 2021. Tannylated Calcium Carbonate Materials with Antacid, Anti-Inflammatory, and Antioxidant Effects. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9). <https://doi.org/10.3390/ijms22094614>
- Lim, S., Shi, J. L., von Gunten, U., & McCurry, D. L. 2022. Ozonation of organic compounds in water and wastewater: A critical review. *Water Research*, 213, 118053. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118053>
- Martin, J. W. 2006. 4 - *Glasses and ceramics* (J. W. B. T.-M. for E. (Third E. Martin (ed.); pp. 133–158). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845691608.2.133>

- Mattox, D. M. 2010. *Chapter 12 - Adhesion and Deadhesion* (D. M. B. T.-H. of P. V. D. (PVD) P. (Second E. Mattox (ed.); pp. 439–474). William Andrew Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-2037-5.00012-5>
- Swapna, G. 2017. Analytical techniques for analysis of Inorganic Elements–A Review. *PharmaTutor*, 5(2), 39–45.
- Tolman, W. B., & Ritter, S. K. 2021. 60 Years of Inorganic Chemistry. *Inorganic Chemistry*, 60(24), 18561–18566. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.1c03580>
- Yam, V. W. 2015. Inorganic chemistry: a prestigious history and a bright future. In *Angewandte Chemie International Edition* (Vol. 54, Issue 29, pp. 8304–8305). Wiley Online Library.

BAB 11

SIFAT LARUTAN

Oleh Neny Rochyani

11.1 Pendahuluan

Larutan, sebagai bentuk campuran homogen dari dua atau lebih zat, merupakan fenomena yang umum dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Fenomena ini melibatkan interaksi kompleks antara pelarut dan zat terlarut, yang dapat memperlihatkan berbagai sifat unik yang mencakup kelarutan, konsentrasi, reaksi larutan, dan pH. Pemahaman mendalam tentang sifat-sifat larutan bukan hanya penting di dalam dunia ilmu kimia, tetapi juga memiliki aplikasi luas dalam berbagai sektor, termasuk industri, kedokteran, dan lingkungan.

Pentingnya pemahaman tentang sifat larutan tidak terlepas dari peranannya dalam banyak aspek kehidupan sehari-hari. Mulai dari minuman yang kita konsumsi, proses kimia dalam tubuh manusia, hingga proses industri yang melibatkan larutan, semuanya terkait erat dengan sifat-sifat larutan. Sebagai contoh, dalam industri farmasi, pemahaman tentang kelarutan zat-zat tertentu dapat mempengaruhi formulasi obat dan efektivitas pengobatan.

Mengenai sifat larutan bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam tentang interaksi antara zat-zat dalam larutan, sekaligus menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi sifat-sifat tersebut. Pemahaman ini menjadi dasar untuk pengembangan teknologi, formulasi produk, dan peningkatan efisiensi proses-proses industri yang melibatkan larutan.

Memahami sifat larutan diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam memperdalam pemahaman tentang fenomena kimia yang melibatkan campuran zat dan merangsang penemuan dan inovasi di masa depan.

16.2. Kelarutan

Kelarutan merujuk pada kemampuan suatu zat untuk larut dalam pelarut tertentu pada kondisi suhu dan tekanan tertentu. Fenomena ini muncul karena adanya interaksi antara molekul-molekul zat terlarut dan molekul-molekul pelarut. Pemahaman konsep kelarutan memiliki peran sentral dalam ilmu kimia, terutama dalam merancang formulasi larutan dan memprediksi perilaku zat-zat dalam kondisi tertentu.

11.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kelarutan

Kelarutan suatu zat dalam pelarut tidak hanya dipengaruhi oleh satu faktor, melainkan oleh sejumlah variabel yang kompleks. Faktor-faktor yang memainkan peran kunci dalam menentukan kelarutan mencakup suhu, tekanan, dan jenis pelarut. Pemahaman mendalam terhadap faktor-faktor ini penting untuk menginterpretasikan dan memprediksi perilaku larutan.

1. Suhu:

Suhu merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kelarutan. Pada umumnya, kelarutan zat padat dalam pelarut cair meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Proses ini terkait dengan energi kinetik molekul, di mana pada suhu yang lebih tinggi, molekul-molekul lebih bergerak secara energik, memungkinkan interaksi yang lebih efektif antara zat terlarut dan pelarut.

Namun, ada pengecualian, terutama pada beberapa zat yang mengalami kelarutan yang berbanding terbalik dengan suhu. Contohnya, garam Natrium Sulfat Anhidrat, yang lebih larut pada suhu rendah dan kurang larut pada suhu tinggi.

2. Tekanan:

Tekanan juga dapat memengaruhi kelarutan, terutama pada gas dalam larutan cair. Hukum Henry menyatakan bahwa kelarutan gas dalam larutan cair meningkat seiring dengan peningkatan tekanan gas di atas larutan. Ini berlaku terutama untuk gas-gas yang larut dalam pelarut secara fisik, bukan melalui reaksi kimia.

3. Jenis Pelarut:

Sifat pelarut, seperti polaritas dan struktur molekuler, memainkan peran penting dalam kelarutan. Zat polar

- umumnya larut dalam pelarut polar, sementara zat nonpolar lebih larut dalam pelarut nonpolar. Air, sebagai pelarut polar universal, sering kali menjadi medium pelarut untuk zat-zat polar. Pelarut nonpolar, seperti minyak, cenderung melarutkan zat-zat nonpolar.
4. Sifat Kimia Zat Terlarut dan Pelarut:
Interaksi antara sifat kimia zat terlarut dan pelarut juga berpengaruh pada kelarutan. Misalnya, zat-zat yang memiliki sifat ionik dapat larut dengan baik dalam pelarut yang memiliki afinitas terhadap ion, seperti air untuk garam ionik.
 5. Konsentrasi Awal Zat Terlarut:
Konsentrasi awal zat terlarut dalam pelarut dapat mempengaruhi kelarutan. Hukum kelarutan menyatakan bahwa "kelarutan suatu zat dalam pelarut adalah jumlah zat yang dapat larut dalam suatu pelarut pada suhu tertentu." Oleh karena itu, jika larutan sudah jenuh dengan zat terlarut pada suatu konsentrasi, tambahan zat terlarut mungkin tidak larut lagi.

11.4 Konsentrasi Larutan

Konsentrasi larutan merujuk pada seberapa banyak zat terlarut yang terdapat dalam pelarut. Pemahaman tentang konsentrasi larutan sangat penting dalam berbagai bidang, termasuk kimia, biologi, dan industri, karena dapat memengaruhi sifat-sifat fisika dan kimia larutan serta memfasilitasi perhitungan dan percobaan di laboratorium.

1. Persentase Massa:

Konsentrasi larutan dapat diukur dalam persentase massa, yang menunjukkan berapa banyak massa zat terlarut yang terdapat dalam sejumlah massa pelarut dan zat terlarut tersebut. Rumusnya dinyatakan sebagai:

$$\% \text{ Massa} = \left(\frac{\text{Massa Zat Terlarut}}{\text{Massa Total Larutan}} \right) \times 100\%$$
$$\text{Massa} = \left(\frac{\text{Massa Total Larutan}}{\text{Massa Zat Terlarut}} \right) \times 100$$

2. Persentase Volume:

Persentase volume mengukur konsentrasi larutan berdasarkan volume zat terlarut dalam suatu volume larutan. Persentase volume dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ Volume} = (\text{Volume Zat Terlarut} / \text{Volume Total Larutan}) \times 100\%$$

$$\text{Volume} = (\text{Volume Total Larutan} / \text{Volume Zat Terlarut}) \times 100$$

3. **Molaritas (M):**

Molaritas mengukur konsentrasi larutan berdasarkan jumlah mol zat terlarut per liter larutan. Rumus molaritas adalah:

$$M = \text{Jumlah Mol Zat Terlarut} / \text{Volume Larutan (dalam liter)}$$

$$M = \text{Volume Larutan (dalam liter)} / \text{Jumlah Mol Zat Terlarut}$$

4. **Molalitas (m):**

Molalitas mengukur konsentrasi larutan berdasarkan jumlah mol zat terlarut per kilogram pelarut. Rumus molalitas adalah:

$$m = \text{Jumlah Mol Zat Terlarut} / \text{Massa Pelarut (dalam kilogram)}$$

$$m = \text{Massa Pelarut (dalam kilogram)} / \text{Jumlah Mol Zat Terlarut}$$

5. **Fraksi Mol:**

Fraksi mol menyatakan rasio jumlah mol zat terlarut terhadap jumlah total mol dalam larutan. Rumusnya dinyatakan sebagai:

$$\text{Fraksi Mol} = \text{Jumlah Mol Zat Terlarut} / \text{Total Mol dalam Larutan}$$

$$\text{Fraksi Mol} = \text{Total Mol dalam Larutan} / \text{Jumlah Mol Zat Terlarut}$$

6. **Konsentrasi PPM (Part Per Million):**

Konsentrasi PPM mengukur jumlah partikel zat terlarut per satu juta partikel larutan. Rumusnya adalah:

$$\text{PPM} = \text{Jumlah Partikel Zat Terlarut} / \text{Total Partikel dalam Larutan} \times 10^6$$

$$\text{PPM} = \text{Total Partikel dalam Larutan} / \text{Jumlah Partikel Zat Terlarut} \times 10^6$$

7. **Konsentrasi PPB (Part Per Billion):**

Konsentrasi PPB serupa dengan PPM, tetapi mengukur per satu miliar partikel. Rumusnya adalah:

$$\text{PPB} = \text{Jumlah Partikel Zat Terlarut} / \text{Total Partikel dalam Larutan} \times 10^9$$

$$\text{PPB} = \text{Total Partikel dalam Larutan} / \text{Jumlah Partikel Zat Terlarut} \times 10^9$$

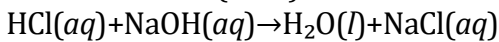
11.5 Reaksi Larutan

Reaksi larutan merujuk pada berbagai proses kimia yang terjadi ketika dua atau lebih larutan bercampur untuk membentuk produk baru. Proses ini melibatkan perubahan zat terlarut di tingkat

molekuler dan dapat menghasilkan berbagai fenomena, termasuk perubahan warna, pembentukan endapan, atau pelepasan gas. Dalam pemahaman reaksi larutan, kita dapat menjelajahi beberapa jenis reaksi kimia yang umum terjadi.

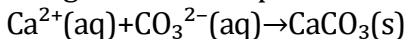
1. Reaksi Netralisasi:

Reaksi netralisasi terjadi ketika larutan asam dan larutan basa dicampur untuk membentuk air dan garam. Contoh paling umum adalah reaksi antara asam hidroklorida (HCl) dan natrium hidroksida (NaOH), menghasilkan air (H₂O) dan natrium klorida (NaCl).



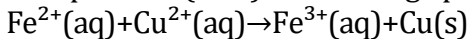
2. Reaksi Pengendapan:

Reaksi pengendapan terjadi ketika dua larutan yang mengandung ion-ion yang tidak larut bertemu dan membentuk padatan yang disebut endapan. Contoh umumnya adalah reaksi antara ion kalsium (Ca²⁺) dan ion karbonat (CO₃²⁻), yang menghasilkan endapan kalsium karbonat (CaCO₃).



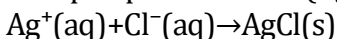
3. Reaksi Redoks (Oksidasi-Reduksi):

Reaksi redoks melibatkan transfer elektron antara dua zat. Contoh reaksi redoks dalam larutan adalah reaksi antara ion besi (Fe²⁺) dan ion tembaga (Cu²⁺), yang menghasilkan endapan besi (Fe³⁺) dan tembaga padatan.



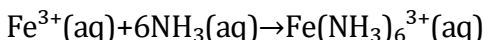
4. Reaksi Presipitasi:

Reaksi presipitasi terjadi ketika dua larutan yang mengandung ion-ion yang membentuk senyawa yang tidak larut dalam air bertemu dan membentuk endapan. Contoh termasuk reaksi antara ion perak (Ag⁺) dan ion klorida (Cl⁻), yang menghasilkan endapan perak klorida (AgCl).



5. Reaksi Kompleksasi:

Reaksi kompleksasi melibatkan pembentukan kompleks antara ion-ion dalam larutan. Sebagai contoh, reaksi antara ion amonia (NH₃) dan ion logam besi (Fe³⁺) membentuk kompleks amonia-feri.



11.6 pH Larutan

pH larutan adalah ukuran tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Skala pH berkisar dari 0 hingga 14, di mana nilai 7 dianggap netral, nilai kurang dari 7 menunjukkan larutan asam, dan nilai lebih dari 7 menunjukkan larutan basa. Pemahaman pH larutan penting karena dapat memberikan wawasan tentang sifat kimia dan biologis suatu larutan.

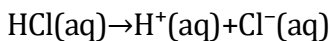
1. Definisi pH:

pH diukur menggunakan skala logaritmik, yang berarti setiap perubahan satu unit pH mewakili perubahan sepuluh kali lipat dalam konsentrasi ion hidrogen (H^+). Rumus umum untuk pH adalah:

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad pH = -\log_{10}[H^+]$$

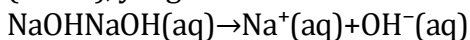
2. Larutan Asam:

Larutan dengan pH kurang dari 7 dianggap asam. Semakin rendah nilai pH, semakin tinggi konsentrasi ion hidrogen. Contoh larutan asam melibatkan asam klorida (HCl), yang membentuk ion H^+ dalam larutan.



3. Larutan Basa (Alkali):

Larutan dengan pH lebih dari 7 dianggap basa atau alkali. Semakin tinggi nilai pH, semakin rendah konsentrasi ion hidrogen. Contoh larutan basa termasuk natrium hidroksida ($NaOH$), yang membentuk ion hidroksida (OH^-) dalam larutan.



4. Larutan Netral:

Larutan dengan pH 7 dianggap netral. Air murni pada suhu $25^\circ C$ memiliki pH sekitar 7. pH netral menunjukkan keseimbangan antara ion hidrogen dan ion hidroksida dalam larutan.

5. Pengukuran pH:

pH dapat diukur menggunakan kertas lakmus, indikator pH, atau alat pH meter. Alat pH meter memberikan pengukuran yang lebih akurat dan presisi, terutama dalam lingkungan laboratorium.

6. Pengaruh pH pada Reaksi Kimia dan Biologi:

pH larutan dapat memengaruhi berbagai reaksi kimia, termasuk aktivitas enzim dalam biologi. Kondisi pH yang tepat seringkali kritis untuk kelangsungan hidup dan fungsi optimal bagi organisme hidup.

7. Buffer:

Larutan buffer dapat mempertahankan pH relatif stabil meskipun penambahan asam atau basa. Ini dicapai dengan keberadaan pasangan konjugat asam-basa yang dapat mengikat atau melepaskan ion hidrogen.

$\text{Asam} \rightleftharpoons \text{Basa}$

DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, P., & de Paula, J. 2010. Atkins' Physical Chemistry. Oxford: Oxford University Press.
- Chang, R. 2010. Chemistry. New York: McGraw-Hill.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., & Murphy, C. 2017. Chemistry: The Central Science. Boston: Pearson.
- Silberberg, M. S. 2017. Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change. New York: McGraw-Hill.
- McMurry, J., & Fay, R. C. 2016. Chemistry. Boston: Pearson.

BAB 12

KIMIA ATMOSFER DAN LINGKUNGAN

Oleh Erlinda Ningsih

12.1 Pendahuluan

Kimia Atmosfer merupakan salah satu cabang ilmu atmosfer yang mempelajari kimia atmosfer bumi dan atmosfer planet lain. Komposisi dan sifat kimia atmosfer penting karena berbagai alasan, terutama karena interaksi antara atmosfer dan organisme hidup.

Letak atmosfer maksimum terletak di dekat permukaan dalam radius 16 km yang mengandung campuran gas berupa gravitasi. Meskipun atmosfer meluas ke luar angkasa dan tidak ada batas yang jelas di antara keduanya, garis imajiner yang disebut garis Kármán, sekitar 100 km di atas permukaan laut, dianggap sebagai batas atmosfer bumi.

Semua faktor eksternal yang mempengaruhi suatu organisme dapat didefinisikan sebagai lingkungan. Faktor-faktor tersebut dapat berupa organisme hidup lainnya atau variabel tak hidup, seperti air, tanah, iklim, cahaya, dan oksigen.

Komposisi atmosfer bumi telah diubah oleh aktivitas manusia yang berbahaya dan berdampak pada kesehatan manusia, tumbuhan, dan ekosistem. Contoh permasalahan yang telah dipecahkan oleh kimia atmosfer meliputi hujan asam, kabut fotokimia, dan pemanasan global.

Kimia Atmosfer berupaya memahami penyebab masalah-masalah ini, dan dengan memperoleh pemahaman teoretis, hal ini memungkinkan pengujian solusi yang mungkin dan penilaian dampak perubahan dalam kebijakan pemerintah.

12.2 Atmosfer Bumi

Atmosfer bumi merupakan lapisan gas yang mengelilingi planet bumi dan terikat oleh gravitasi bumi. Atmosfer mengandung sekitar 78% nitrogen, 21% oksigen, 0,93% argon, 0,04% karbon

dioksida, dan sejumlah kecil gas lain selain uap air. Campuran gas ini biasa disebut udara.

Atmosfer melindungi kehidupan di Bumi dengan menyerap sinar UV matahari dan mengurangi suhu ekstrem antara siang dan malam. Gas-gas ozon, uap air, dan karbon dioksida hanyalah komponen kecil di atmosfer, tetapi gas-gas tersebut mempunyai dampak yang besar terhadap bumi dengan menyerap radiasi. Ozon di atmosfer bagian atas melemahkan sinar ultraviolet di bawah sekitar 360 nm, yang berbahaya bagi organisme hidup.

12.2.1 Evolusi Atmosfer

1. **Proto-atmosfer atau atmosfer pertama** Pembentukan bumi terjadi sekitar 5 miliar tahun yang lalu dari nebula matahari. Atmosfer sekarang sebagian besar terdiri dari hidrogen (H_2), uap air (H_2O), nitrogen (N_2), karbon dioksida (CO_2), dan karbon monoksida (CO). Gas-gas tersebut lepas ke luar angkasa karena suhu yang terlalu tinggi dan gravitasi bumi yang rendah karena bumi tidak mempunyai inti tersendiri.

Akresi bumi terjadi sekitar 3,5 miliar tahun yang lalu. Oleh karena itu, panas akan dilepaskan dan diserap oleh gas mulia yang sebagian besar dari keluar. Komponen lain bergabung secara kimia membentuk gas yang melayang di atas bumi karena pengaruh gravitasinya. Atmosfer terdiri dari H_2 , N_2 , metana (CH_4), amonia (NH_3), H_2O dan gas mulia.

2. **Atmosfer tereduksi atau atmosfer kedua** Atmosfer ini ada 3,5 hingga 2 miliar tahun yang lalu. Hidrosfer terbentuk sekitar 4 miliar tahun yang lalu, menciptakan lautan luas berisi uap air yang terkondensasi.

Pada periode ini, Bumi mendingin dan terjadi diferensiasi lapisan menjadi inti padat, mantel cair, dan kerak tipis seperti cangkang. Inti padat menciptakan gaya gravitasi yang kuat. Energi yang dilepaskan dari pertambahan partikel dan peluruhan isotop radioaktif menyebabkan letusan gunung berapi besar-besaran.

Gas terlarut dalam magma cair berkurang saat melewati mantel. Sejumlah besar N_2 dan sejumlah besar CO_2 dilepaskan

ke atmosfer. Sebagian besar CO_2 terlarut dalam air dan membentuk sedimen karbonat dan kekurangan oksigen bebas (O_2). Gas lain yang ada adalah H_2 , N_2 , CH_4 , NH_3 dan sejumlah kecil karbon monoksida (CO), hidrogen sulfida (H_2S), sulfur dioksida (SO_2), klorin (Cl_2), dll.

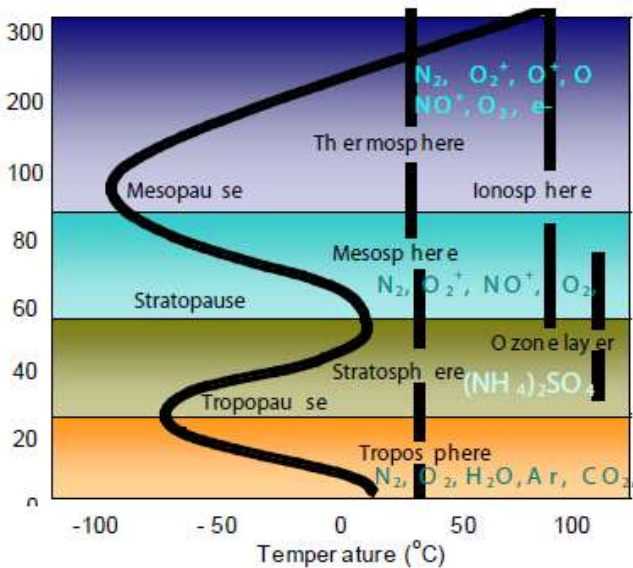
3. **Oksidasi atau atmosfer saat ini** Sekitar 2,4 miliar tahun yang lalu, O_2 bebas mulai terbentuk di atmosfer. Meskipun fotosintesis cyanobacteria muncul sekitar 2,7 miliar tahun yang lalu, O_2 yang dilepaskan selama fotosintesis digunakan dalam oksidasi logam seperti besi.

Atmosfer menjadi teroksidasi dan 4444 bentuk kehidupan memakan O_2 mulai bermunculan di lautan bumi. O_2 dihasilkan melalui fotolisis air dari radiasi ultraviolet (UV) serta fotosintesis oleh tumbuhan dan cyanobacteria.

Namun, semakin tinggi di atmosfer, molekul O_2 menyerap sinar ultraviolet dan diubah menjadi ozon (O_3). Segera, lapisan ozon terbentuk, melindungi permukaan bumi dari sinar UV berenergi tinggi, menciptakan kondisi bagi berkembangnya kehidupan di bumi. Ketika bentuk kehidupan tingkat tinggi muncul di bumi, tumbuhan menambahkan O_2 ke atmosfer sementara 4444 spesies hewan menggunakannya untuk bernapas, dan tingkat O_2 stabil pada sekitar 21% seperti yang kita kenal sekarang.

12.2.2 Temperatur Atmosfer

Meskipun tekanan atmosfer secara bertahap menurun pada ketinggian yang lebih tinggi, suhu seiring dengan ketinggian jauh lebih kompleks. Suhu atmosfer bumi bervariasi menurut ketinggian, dan hubungan matematis antara suhu dan ketinggian juga bervariasi antar lapisan atmosfer.



Gambar 12.1. Variasi suhu rata-rata dengan ketinggian berbeda

Terdapat empat wilayah Atmosfer: Troposfer, Stratosfer, Mesosfer, dan Termosfer. (Dr. Dejene Ayele Tesseama, Environmental Chemistry African Virtual University)

1. **Troposfer** adalah daerah yang paling dekat dengan permukaan bumi. Ini adalah wilayah antara km dari permukaan bumi dan 7 km ketinggian di kutub dan km di khatulistiwa, dengan beberapa variasi karena faktor meteorologi. Suhu udara menurun secara merata di ketinggian , dengan laju sekitar 6,5°C per 1.000 meter. Puncaknya dicapai pada suhu rata-rata -56,5°C
2. **Stratosfer**, suhu tetap konstan dengan ketinggian pada 9 km pertama (disebut lapisan isothermal) dan kemudian terus meningkat. Di atas stratosfer, pada wilayah 50 hingga sekitar 80 km, suhu kembali menurun di mesosfer.
3. **Pada Mesosfer**, Atmosfer mencapai suhu terdingin (sekitar -90°C) pada ketinggian sekitar 80 km. Atmosfer bagian atas dicirikan oleh adanya sejumlah besar elektron dan ion positif. Karena kondisi yang langka, ion-ion ini dapat bertahan di atmosfer bagian atas untuk jangka waktu yang lama sebelum bergabung kembali membentuk spesies

netral. Pada ketinggian sekitar 50 km ke atas, ion-ion tersebar sangat luas sehingga wilayah disebut ionosfer. Sinar ultraviolet adalah sumber utama produksi ion di ionosfer. Dalam kegelapan, ion positif perlahan bergabung kembali dengan elektron bebas. Proses terjadi lebih cepat di wilayah bawah ionosfer dimana konsentrasi spesies relatif tinggi.

4. **Suhu atmosfer meningkat lagi pada tingkat termosfer.** Suhu di grade ini bisa mencapai 1200°C. Batas antara wilayah-wilayah ini disebut jeda tropis, jeda stratosfer, jeda termal, dan jeda termal. Suhu rata-rata atmosfer di permukaan bumi adalah 14°C. Pesawat jet biasanya ditemukan di dekat puncak troposfer, pada ketinggian 10 hingga 12 km, dan rekor ketinggian dunia untuk pesawat terbang adalah 37,65 km , atau di dekat tengah stratosfer.

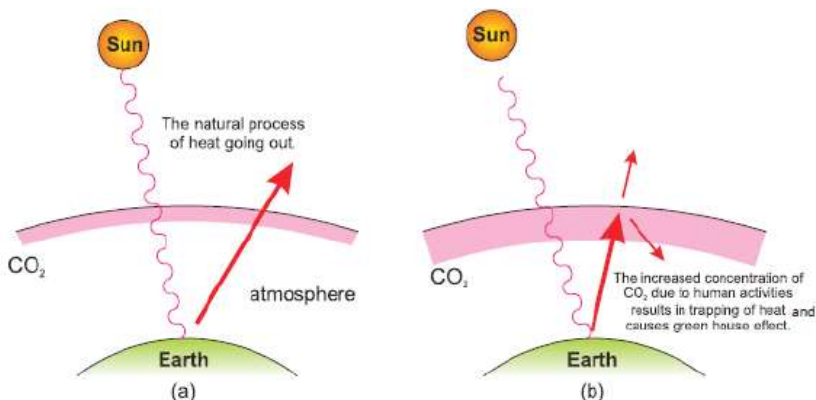
12.3 Polutan Atmosfer

Polutan Atmosfer tergantung pada cara polutan mencapai atmosfer. Polutan udara diklasifikasikan menjadi polutan primer dan sekunder. Tingkat Pencemar Primer adalah polutan yang dipancarkan langsung ke atmosfer dari sumber yang dapat diidentifikasi. Contohnya adalah karbon monoksida dan sulfur dioksida.

Sedangkan Polutan sekunder adalah polutan yang dihasilkan oleh bahan kimia akibat reaksi di atmosfer. Misalnya, ozon, komponen utama kabut asap perkotaan, terbentuk oleh reaksi fotokimia antara nitrogen oksida, VOC, dan komponen atmosfer lainnya, yang merupakan polutan sekunder.

12.3.1 Efek Rumah Kaca dan Pemanasan Global

Meningkatnya kepadatan manusia dan aktivitasnya yang beraneka ragam berdampak pada polusi udara yang terjadi pada lapisan atmosfer. Salah satu nya dari unsur CO₂ membentuk lapisan di sekeliling Bumi seperti sebuah amplop. Hal ini memungkinkan sinar panas dari Matahari untuk melewatinya dan mencapai Bumi. Sinar ini dipantulkan dari permukaan Bumi dan kembali ke atmosfer.



Gambar 12.2. Efek Rumah Kaca

Konsentrasi normal dari lapisan CO₂ menahan panas yang cukup untuk menjaga atmosfer tetap hangat. Jadi, konsentrasi normal CO₂ diperlukan dan bermanfaat untuk menjaga suhu tetap hangat. Jika tidak, Bumi tidak akan bisa dihuni. Suhu rata-rata Bumi akan menjadi sekitar -20°C, daripada suhu rata-rata saat ini yang mencapai 15°C. CO₂ bukanlah polutan udara. Sebaliknya, CO₂ adalah gas yang penting bagi tanaman seperti halnya O₂ yang penting bagi hewan. Tumbuhan mengkonsumsi CO₂ dalam proses fotosintesis dan menghasilkan O₂. Sementara hewan menggunakan O₂ dalam proses respirasi dan mengeluarkan CO₂. Dengan cara ini, keseimbangan alami ada antara gas-gas esensial ini seperti yang ditunjukkan di sini.

Berikut adalah Efek pemanasan global yang berdampak pada kebutuhan energi dan lingkungan:

1. Akumulasi karbon dioksida yang ada di udara mengakibatkan meningkatkan suhu atmosfer sekitar 0,05 ° C setiap tahunnya.
2. Hal ini menyebabkan perubahan besar pada pola cuaca. Peristiwa cuaca ekstrem terjadi lebih sering dan lebih intens daripada sebelumnya.
3. Mencairnya gletser dan lapisan salju yang meningkatkan risiko banjir dan risiko banjir dan siklon tropis yang intens.

4. Permukaan laut meningkat sehingga daerah dataran rendah akan terendam membuat daerah yang sebelumnya berpenduduk tidak lagi layak huni.

12.3.2 Hujan Asam dan Dampaknya

Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan oksida sulfur dan nitrogen di udara. Hujan Air hujan mengubah SO_2 menjadi H_2SO_4 dan NO_x menjadi HNO_2 dan HNO_3 . Air hujan normal bersifat asam lemah karena terdiri dari CO_2 terlarut di udara. pH-nya sekitar 5,6 hingga 6. Tetapi air hujan yang melarutkan polutan udara (asam) menjadi lebih asam dan pH-nya berkurang menjadi 4. Dengan demikian, hujan asam terbentuk pada pelarutan polutan udara yang bersifat asam seperti sulfur dioksida dan nitrogen dioksida oleh air hujan.

Air hujan yang dianggap sebagai bentuk air paling murni yang tersedia di masa lalu, kini diketahui sering terkontaminasi oleh polutan di udara. Dengan adanya kelembaban atmosfer, gas-gas seperti sulfur dioksida dan oksida nitrogen, yang dihasilkan dari emisi industri, berubah menjadi tetesan asam murni yang mengendap dalam kabut asap, yang dikenal sebagai hujan asam. Asam-asam ini larut dalam air hujan dan merusak tanah, hewan, tanaman, dan kehidupan air.



Gambar 12.3. Proses oksida sulfur dan nitrogen menjadi asam

Efek Hujan asam pada tanah dan bebatuan melarutkan logam berat (Al, Hg, Pb, Cr, dll) dan membuang logam-logam ini ke

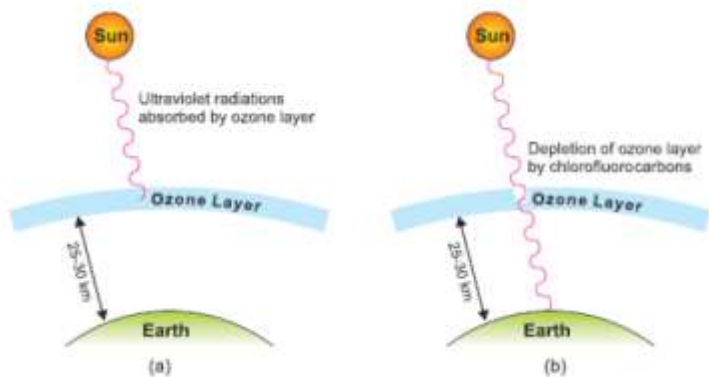
sungai dan danau. Air ini digunakan oleh manusia untuk minum. Kemudian Logam-logam ini terakumulasi dalam tubuh manusia ke tingkat racun. Di sisi lain, kehidupan akuatik yang ada di danau juga menderita karena konsentrasi tinggi dari logam-logam ini. Terutama konsentrasi ion aluminium yang tinggi menyumbat insang ikan. Hal ini menyebabkan ikan mati lemas dan akhirnya mati.

Selain itu hujan asam menyerang kalsium karbonat yang ada di marmer dan batu kapur pada bangunan dan monumen. Dengan demikian, bangunan-bangunan ini menjadi kusam dan terkikis dari hari ke hari.

Hujan asam juga meningkatkan keasaman tanah. Banyak tanaman dan tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik di tanah seperti itu. Hal ini juga meningkatkan logam beracun di dalam tanah yang meracuni vegetasi. Bahkan pohon-pohon tua pun terpengaruh karena keasaman tanah. Pertumbuhan mereka terhambat, kering dan mati.

12.3.3 Polusi Udara dan Penipisan Ozon

Ozon adalah bentuk alotropik oksigen yang terdiri dari tiga oksigen atom. Ini terbentuk di atmosfer oleh asosiasi oksigen atom oksigen dengan molekul oksigen di tengah stratosfer. Ozon terdapat di seluruh atmosfer. Tapi maksimumnya konsentrasi yang disebut lapisan ozon terletak di wilayah stratosfer sekitar 25 hingga 30 km dari permukaan bumi. Lapisan ini mengelilingi dunia dan melindungi Bumi seperti perisai dari sinar ultraviolet yang berbahaya. Jika tidak, radiasi ultraviolet akan menyebabkan kanker kulit. Dengan demikian, lapisan ozon di stratosfer bermanfaat bagi kehidupan di Bumi.



Gambar 12.4. (a) Lapisan Ozon (b) Penipisan Lapisan Ozon

Bahkan masalah kecil dari penipisan ozon dapat menimbulkan efek yang besar. Penipisan ozon memungkinkan radiasi ultraviolet matahari mencapai bumi, yang dapat menyebabkan kanker kulit pada manusia dan hewan lainnya.

Menipisnya lapisan ozon akan meningkatkan penyakit menular seperti malaria. Selain itu, dapat mengubah siklus hidup tanaman sehingga mengganggu rantai makanan. Mengubah pola angin, yang mengakibatkan perubahan iklim di seluruh dunia. Terutama, Asia dan Pasifik akan menjadi wilayah yang paling terpengaruh, menghadapi krisis migrasi penduduk.

12.4 Solusi Menghadapi Polutan Atmosfer

Apa yang dapat dilakukan untuk mengatasi hujan asam dan bentuk-bentuk polusi udara lainnya? Ada beberapa pilihan tersedia, diantaranya: penggunaan sumber energi alternatif, penghilangan polutan dari hasil pembakaran dan efisiensinya serta konservasi energi.

Ada beberapa sumber energi alternatif untuk kendaraan bermotor. Di antaranya adalah gas alam. sangat menarik karena potensinya yang kecil terhadap polusi udara. Bahan bakar ini mengandung sedikit pengotor belerang; terbakar dengan bersih dengan sedikit pembentukan sulfur atau nitrogen oksida.

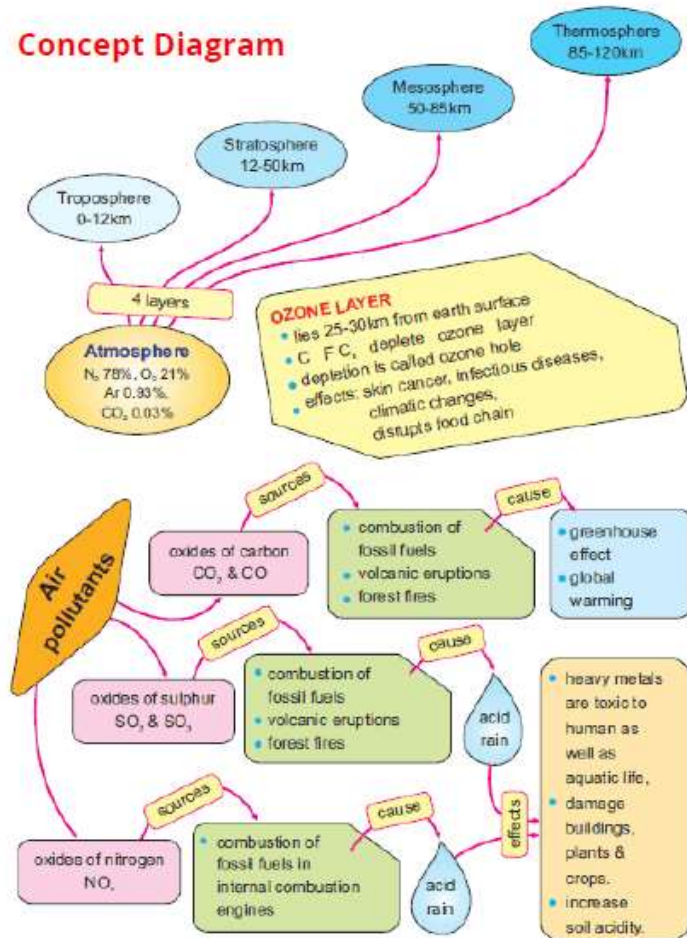
Meskipun mobil listrik yang ditenagai oleh baterai mungkin terlihat sebagai alternatif yang benar-benar bebas polusi alternatif,

penggunaannya mungkin hanya mengalihkan masalah lingkungan dari satu sumber atau lokasi ke lokasi lain. Lagi pula, jika kita beralih dari mesin pembakaran internal ke baterai listrik sebagai sumber daya, jumlah total energi yang sekarang disediakan oleh bensin, bahan bakar diesel, dan produk kilang serupa harus digantikan oleh jumlah listrik yang setara, yang akan dibutuhkan untuk mengisi ulang baterai transportasi yang baru.

Beban untuk memproduksi kuantitas tambahan listrik ini harus diambil oleh generator tenaga listrik yang ada atau yang baru yang akan menimbulkan masalah lingkungan baru. Mobil dan kendaraan lain menyumbang kurang dari setengah dari total emisi SO_x dan NO_x (tetapi sebagian besar CO) di Amerika Serikat. Utilitas listrik dan fasilitas stasioner lainnya menghasilkan sebagian besar polutan ini. Meskipun pabrik-pabrik ini mungkin dirancang untuk menggunakan sumber energi alternatif seperti tenaga nuklir, pendekatan yang lebih praktis atau lebih cepat termasuk meningkatkan efisiensi proses pembakaran dan menghilangkan polutan dari gas buang sebelum mencapai atmosfer.

Beberapa pendekatan yang berbeda digunakan untuk mengurangi polutan dalam knalpot kendaraan industri, termasuk pengendapan elektrostatis,iltrasi, dan penggosokan. Pengendapan elektrostatis menghilangkan unsur partikulat dan aerosol yang merupakan partikel kecil cairan dan padatan yang terdispersi dalam asap. (Partikel yang lebih kecil, berdiameter kurang dari 10-3 mm, membentuk aerosol; partikel yang lebih besar adalah partikulat). Gas buang melintas di antara dua pelat atau elektroda vertikal bermuatan. Partikel-partikel mengambil elektron yang dipasok oleh elektroda negatif dan bergerak ke elektroda yang lebih positif. Di sana partikel-partike cairan menumpuk dan menurunkan bagian bawah kolektor; dengan agitasi, padatan jatuh.

Concept Diagram



Gambar 12.5. Diagram Proses Terjadinya Polutan Atmosfer dan Dampaknya bagi makhluk hidup dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

This document is published under the conditions of the Creative

http://en.wikipedia.org/wiki/Creative_Commons

<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/>

License (abbreviated “cc-by”), Version 2.5.

(Dr. Dejene Ayele Tesseama, Environmental Chemistry African
Virtual University)

Dr. Indu Tucker Sidhwani, Dr. Aparna Garg, Environmental
Chemistry, Atmosphere, University of Delhi.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17514926>.

BAB 13

KIMIA OBAT-OBATAN ANORGANIK

Oleh Siti Nurul Afifah

13.1 Pendahuluan

Kimia anorganik merupakan sebuah studi yang mempelajari terkait semua sifat serta perilaku dari semua unsur yang terkandung pada senyawa anorganik, seperti logam, mineral, serta organologam kecuali senyawa berbasis karbon atau senyawa organik. Kimia anorganik dapat menggambarkan sebuah karakteristik dari senyawa yang tidak hidup serta mineral yang ditemukan di bumi kecuali senyawa organik.

Cabang dari ilmu kimia anorganik sendiri meliputi kimia koordinasi, kimia bioanorganik, senyawa organologam serta kimia anorganik sintetik. Perbedaan antara senyawa organik dan anorganik bersifat tidak mutlak serta adanya tumpang tindih seperti senyawa-senyawa kimia organologam yang mempunyai nilai manfaat dalam dunia farmasi, industri kimia termasuk kimia katalisis dalam reaksi sintesis obat, pigmen, surfaktan, serta pertanian. Kimia anorganik merupakan cabang dari ilmu kimia yang mempelajari senyawa yang tidak mengandung radikal hidrokarbon (terutama unsur karbon (C) dan hidrogen (H)).

Kimia anorganik dalam obat-obatan merupakan sebuah cabang dari ilmu kimia yang mempelajari senyawa anorganik yang digunakan dalam mengembangkan obat-obatan. Senyawa anorganik tersebut dapat berupa logam transisi, logam alkali, dan logam alkali tanah yang mampu dikembangkan dalam dunia farmasi untuk mengobati berbagai macam penyakit. Salah satu contohnya adalah senyawa cisplatin untuk obat kanker, serta unsur litium untuk obat bipolar.

Pada abad ke-19, seorang kimiawan bernama Barzelius mendeskripsikan terkait senyawa anorganik sebagai benda mati. Amonium nitrat merupakan senyawa anorganik sintetik pertama yang bermanfaat sebagai media pemupukan tanah. Senyawa

anorganik banyak ditemukan di alam sebagai mineral. Contohnya di tanah terdapat senyawa besi sulfida yang dapat digunakan sebagai pirit dan kalsium sulfat sebagai gipsum. Akan tetapi senyawa-senyawa ini juga ditemukan di dalam tubuh manusia sebagai biomolekul dalam tubuh manusia sebagai elektrolit (natrium klorida) untuk penyimpanan energi ATP atau dalam penyusunan tulang punggung polifosfat sebuah DNA. Senyawa anorganik disintesis salah satunya sebagai penyusun suatu obat, sebagai contoh cisplatin, magnesium hidroksida, katalis seperti vanadium (V) oksida dan titanium (III) klorida.

Selama beberapa tahun terkahir ini, unsur logam telah banyak digunakan dalam bidang ilmu biologi juga. Dalam kimia obat anorganik dapat digunakan untuk mendiagnosis suatu penyakit maupun sebagai agen terapi suatu penyakit dengan menerapkan ion logam kompleks dengan pengkhelat. Selain itu, dalam bidang biokimia adanya ion logam yang disuntikkan ke tubuh makhluk hidup seperti hewan dan manusia telah terbukti untuk agen terapi.

13.2 Pentingnya Senyawa Kimia Anorganik Dalam Dunia Farmasi

Manfaat senyawa obat-obatan kimia anorganik dalam dunia farmasi dan kesehatan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Untuk pengobatan terapi. Sebagai contoh : astrigen, anti-mikroba, dan lain sebagainya.
2. Sebagai alat bantu dunia farmasi seperti bentonit, bedak, dan lain sebagainya.
3. Untuk mengubah reaksi cairan tubuh yaitu menjadi asam atau basa seperti antasida, asam mineral, basa, dan lain sebagainya.
4. Untuk mengganti maupun mengisi kembali cairan tubuh agar menjadi normal dengan mengasamkan maupun memasakan seperti natrium, kalium, kalsium, klorida, fosfat, dan lain sebagainya.
5. Sebagai reagen untuk melakukan reaksi kimia seperti katalisis (platinum, nikel), reaksi oksidasi (seperti Kalium Permanganat atau KMnO_4), dan reaksi reduksi seperti LiAlH_4 .

6. Untuk analisis dalam dunia farmasi seperti titrasi dengan KMnO_4 .

13.3 Klasifikasi Kimia Obat-Obatan Anorganik

Klasifikasi kimia obat-obatan anorganik dapat ditentukan berdasarkan 2 cara yaitu (Zamboanga, 2020)

Klasifikasi pertama kimia obat-obatan anorganik berdasarkan penggunaannya

Berbagai jenis macam penggunaan senyawa kimia anorganik dalam dunia farmasi diantaranya adalah sebagai berikut (Zamboanga, 2020):

1. *Abrasive* adalah sejenis obat yang digunakan untuk memberishkan dan memutihkan gigi. Contoh : Dibasic Kalsium Fosfat.
2. *Absorbent* atau penyerap adalah sejenis obat yangdigunakan untuk menyerap racun dan bakteri di saluran pencernaan. Contoh : Kalsium Karbonat.
3. *Acidifier* atau Pengasam adalah obat yang digunakan untuk meningkatkan keasaman sementara di GIT. Contoh : pengenceran asam klorida.
4. *Adsorbent* adalah sejenis obat yang digunakan untuk pengobatan disentri ringan atau diare serta gangguan cerna lainnya karena adanya kemampuan senyawa kimia anorganik dalam menyerap racun, gas, serta bakteri. Contoh: bismut subkarbonat, bismut subnitrat.
5. *Alkalizer* adalah sejenis obat yang digunakan untuk menginduksi kondisi basa maupun asam suatu tubuh. Contoh: Natrium Sitrat.
6. *Anastesi* adalah sejenis obat yang digunakan untuk menghilangkan sensasi nyeri yang bersifat refersibel. Contoh: nitrat oksida.
7. *Analgesik* adalah sejenis obat yang digunakan untuk menghilangkan rasa sakit. Contoh : nitrat oksida.
8. *Antasida* adalah sejenis obat yang bersifat basa yang dimanfaatkan untuk menetralkan asam lambung yang berlebih dalam lambung. Contoh : sejenis gel aluminium hidorksida, kalsium karbonat, magneisum karbonat.

9. *Antelmintik* atau obat cacing adalah sejenis senyawa kimia yang digunakan untuk membunuh cacing atau *schistosomiasis*.
10. *Antibakteri* adalah suatu obat yang digunakan dalam pengobatan infeksi bakteri. Contoh: Oksida merkuri berwarna kuning (infeksi bakteri pada mata).
11. *Antikonvulsan* adalah obat yang digunakan untuk pengobatan epilepsi. Contoh: Kalium bromida.
12. *Antikoagulan* merupakan obat yang digunakan untuk mencegah pembekuan darah. Contoh: Natrium sitrat.
13. *Antidepresan* adalah suatu obat yang digunakan dalam pengobatan depresi. Contoh: Litium karbonat.
14. Penangkal racun merupakan obat yang digunakan dalam pengobatan racun. Contoh: Natrium nitrit, Natrium tiosulfat.
15. *Antifebrile* adalah obat yang digunakan untuk menghilangkan rasa sakit atau menurunkan demam. Contoh: Amonium asetat.
16. Agen *anti-jamur* adalah obat yang digunakan dalam pengobatan infeksi jamur. Contoh: Seng (Zn) undecylenate (hanya untuk penggunaan topikal), Kalium iodida.
17. Agen *antihiperkalsemia* adalah sejenis obat yang digunakan dalam penanganan konsentrasi kalsium yang abnormal dalam tubuh. Contoh: Natrium asam fosfat.
18. Anti infeksi adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan infeksi lokal. Contoh: Kalium permanganat, perak nitrat, hidrogen peroksida, dan asam borat.
19. Agen *anti-inflamasi* adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan nyeri inflamasi (*Rheumatoid arthritis*). Contoh: Natrium aurotiomalat.
20. Agen *anti-iritasi* adalah sejenis obat yang digunakan untuk mencegah iritasi atau reaksi alergi. Contoh: Serbuk logam aluminium.
21. *Antiseptik* sejenis obat yang digunakan untuk menghambat pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme tanpa membunuh. Contoh: Larutan yodium kuat.

22. *Antiperspiran* adalah sejenis obat yang digunakan untuk menghilangkan bau tak sedap pada tubuh. Contoh: Aluminium sulfat.
23. *Anti-protozoa* adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan infeksi protozoa atau Leishmaniasis. Contoh: Natrium antimon glukonat.
24. *Anti pruritus* (topikal) adalah sejenis obat yang digunakan untuk menghasilkan efek menenangkan pada kulit. Contoh: kalamine.
25. *Anti rematik* adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan rematik. Contoh: Natrium aurotiomalat.
26. *Anti tiroid* adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan tirotoksikosis. Contoh: Kalium perklorat.
27. Agen *anti tumor* adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan kanker. Contoh: Cisplatin (kanker testis dan kanker ovarium).
28. Agen anti *schistosomal* adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan *schistosomiasis*. Contoh: Natrium antimon tartrat.
29. *Antioksidan* adalah sejenis zat yang mencegah atau menghambat reaksi *oksidasi*. Beberapa contoh formulasi, minyak nabati dan makanan siap saji mengandung antioksidan. Contoh: Natrium bisulfat, natrium metabisulfit, natrium sulfit.
30. *Astringen* adalah zat yang menyebabkan pengendapan protein. Tindakan *astringen* dibuktikan dengan adanya kontraksi dan kerutan jaringan serta pucatnya. Contoh: Calamine, Aluminium sitrat.
31. *Bakterisida* adalah sejenis obat yang digunakan untuk membunuh bakteri. Contoh: Kalium permanganat.
32. *Bakteriostatik* adalah Obat yang digunakan untuk mencegah pertumbuhan bakteri. Contoh : Tawas, boraks (bakteriostatik lokal).
33. Bahan pemutih adalah obat yang digunakan untuk membersihkan luka atau memutihkan. Contoh: Hidrogen peroksida.

34. Larutan penyangga atau *Buffer* adalah zat kimia yang berfungsi untuk mencegah perubahan pH pada penambahan asam atau basa. Contoh: *Buffer* asetat (pH – 3,9), *Buffer* natrium sitrat.
35. Suplemen kalsium adalah sejenis obat yang digunakan sebagai sumber kalsium. Contoh: Kalsium laktat, Kalsium glukonat.
36. *Katarsis* adalah sejenis obat yang digunakan untuk memperlancar buang air besar, menghilangkan sembelit dan mengusir parasit usus. Contoh: Kalomel, Magnesium sulfat.
37. Sumber klorin adalah senyawa kimia dan berfungsi untuk membebaskan klorin. Contoh: Kapur terklorinasi, Soda terklorinasi.
38. Pasta gigi adalah termasuk senyawa kimia yang digunakan untuk membersihkan permukaan gigi. Contoh: Kalsium karbonat, Magnesium peroksida.
39. Agen obat penghilangkan rambut adalah obat yang digunakan untuk menghilangkan rambut. Contoh: Barium sulfida.
40. Agen diagnostik adalah sejenis obat yang digunakan untuk mendiagnosis kondisi penyakit pada organ. Contoh: Barium sulfat.
41. *Diaphoretics* adalah sejenis obat yang digunakan untuk meningkatkan produksi keringat. Contoh: Kalium sitrat.
42. *Desinfektan* adalah sejenis obat yang digunakan untuk membunuh mikroba pada benda mati. Contoh: Amonium asetat.
43. *Diuretik* adalah sejenis obat yang digunakan untuk meningkatkan jumlah produksi urin. Contoh: Amonium klorida, Amonium iodida.
44. Bahan pembalut merupakan sejenis bahan yang digunakan untuk membalut luka bakar. Contoh: Aluminium foil logam.
45. Bubuk debu adalah sejenis bahan yang digunakan untuk memberikan efek menenangkan pada kulit. Contoh: Bedak, Seng stearat, Kaolin ringan.

46. Pengisi elektrolit merupakan sejenis senyawa kimia yang digunakan untuk mengatasi kondisi ketidakseimbangan asam basa dalam tubuh. Contoh: Natrium klorida, Larutan ringer laktat, Kalium klorida.
47. *Emetik* merupakan obat yang digunakan untuk menginduksi muntah. Contoh: Seng sulfat, Tembaga sulfat.
48. *Ekspektoran* adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan batuk, sehingga dapat mendorong pengeluaran lendir (dahak) dari paru-paru, bronkus dan trakea dengan meningkatkan *fluiditasnya* (mengurangi viskositas). Contoh: *Kalium iodida* (obat penenang ekspektoran), Kayu Putih, Lemon (stimulan ekspektoran), Amonium klorida, Kalium iodida.
49. *Fillers* adalah sejenis obat yang digunakan untuk mengisi gigi berlubang. Contoh: Logam Emas dan Perak.
50. *Anestesi* umum merupakan obat yang digunakan untuk menghilangkan sensasi yang bersifat *reversibel*. Contoh: Nitrous oksida.
51. Pembasmi kuman adalah obat yang digunakan untuk membunuh kuman. Contoh : Kapur yang diklorinasi.
52. *Hematinik* adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan anemia. Contoh: Ferrous sulfat, Ferric amonium citrate dan senyawa besi lainnya.
53. *Hemostatik* adalah sejenis obat yang digunakan untuk menghentikan aliran darah. Contoh: Tawas.
54. *Inhalansia* adalah sejenis obat atau bahan kimia berupa senyawa essensial yang mudah menguap untuk dihirup atau diberikan melalui sistem pernafasan di dalam tubuh. Contoh: Oksigen, CO², Amonium karbonat, Nitrous oksida, Helium.
55. Suplemen *yodium* adalah obat-obatan yang digunakan dalam pengobatan kekurangan yodium. Contoh: Kalium iodida.
56. Pencahar atau pelancar buang air besar (BAB) adalah sejenis obat yang digunakan untuk melancarkan evakuasi usus. Contoh: Magnesium Sulfat, Natrium fosfat.

57. Pelindung adalah senyawa kimia yang cenderung membentuk lapisan dan melindungi kulit atau selaput lendir yang terbuka dari rangsangan berbahaya. Contoh: Seng stearat, Seng oksida.
58. Pencabar adalah sejenis obat yang digunakan untuk buang air besar. Agen ini meredakan sembelit dan membantu memberantas parasit usus. Contoh: Magnesium sulfat.
59. Pelindung radiasi adalah sejenis senyawa yang digunakan untuk mencegah masuknya radiasi. Contoh: Lembaran timah, pelapis dinding.
60. Pelacak radio isotop merupakan sejenis elemen atau senyawa radioaktif yang ditambahkan ke material untuk memantau distribusi material seiring perkembangannya melalui suatu sistem. Contoh: *Karbon-14, Tritium*.
61. Agen radioterapi merupakan sejenis radioisotop yang digunakan untuk pengobatan penyakit. Contoh: *Iodine-121, Cr-52 dan Gold-198*.
62. *Rubifaciens* adalah sejenis bahan yang menyebabkan kemerahan pada kulit dengan melebarkan pembuluh darah serta meningkatkan sirkulasi darah pada area yang diaplikasikan senyawa kimia tersebut. Contoh: Amonia.
63. *Scabicides* adalah sejenis obat yang digunakan dalam pengobatan kudis. Contoh: Belerang.
64. Obat penenang adalah zat yang menyebabkan depresi SSP dan menghasilkan obat penenang. Pada dosis yang lebih tinggi yang dapat menyebabkan kantuk. Contoh: Kalium bromida, Litium karbonat.

Klasifikasi kedua kimia obat-obatan anorganik berdasarkan jenis aplikasinya dalam sebuah terapi

Berikut contoh-contoh klasifikasi kimia obat-obatan anorganik berdasarkan jenis aplikasinya pada sebuah terapi penyakit diantaranya adalah sebagai berikut (Zamboanga, 2020):

1. *Asidosis* merupakan kondisi patologis akibat akumulasi ion asam dan hidrogen. Kimia obat anorganik yang digunakan pada kondisi seperti ini membutuhkan pengganti elektrolit seperti natrium klorida, kalium klorida dan lain-lain.

2. Jerawat merupakan sebuah penyakit yang ditandai dengan adanya sebuah inflamasi kronis yang sangat umum terjadi pada remaja baik laki-laki maupun perempuan. Lesi ini biasanya muncul dan terlihat di bagian wajah, dada bagian atas, dan punggung atas. Kimia obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah belerang dan senyawanya.
3. *Alkalosis* merupakan suatu kondisi patologis yang disebabkan karena adanya akumulasi basa dan ditandai dengan adanya sebuah penurunan konsentrasi ion hidrogen. Senyawa kimia obat anorganik yang digunakan dalam kondisi ini semuanya merupakan pengganti elektrolit asam seperti natrium klorida, kalium klorida, dan lain-lain.
4. Penyakit alergi merupakan sebuah penyakit yang ditandai dengan adanya suatu keadaan hipersensitivitas yang disebabkan oleh adanya paparan terhadap antigen (senyawa alergen) tertentu yang dihasilkan dari reaksi imunologis. Obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah magnesium tiosulfat.
5. *Anemia* merupakan sebuah penyakit yang ditandai dengan adanya penurunan konsentrasi hemoglobin dalam darah di bawah batas bawah kisaran normal individu. Obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah semua senyawa besi (Haematinik: Ferrous Sulphate (Besi sulfat), Ferrous gluconate (Besi glukonat), Ferric ammonium citrate (besi amonium sitrat), dll).
6. *Anoksia* adalah suatu penyakit yang ditandai dengan tidak adanya pasokan oksigen ke organ atau jaringan. Oksigen digunakan dalam kondisi ini.
7. *Arthritis* atau radang sendi yang merupakan sebuah penyakit sistemik kronis yang bermanifestasi sebagai peradangan sendi perifer dan kelainan hematologi, paru kardiovaskular, dan neurologis. Obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah natrium aurothiomalate.
8. *Asfiksia* adalah suatu penyakit dengan kondisi dimana penurunan konsentrasi oksigen dalam tubuh secara ekstrim disertai dengan peningkatan konsentrasi kadar karbon

dioksida menyebabkan ketidaksadaran atau kematian. Gas oksigen banyak dibutuhkan dalam kondisi ini.

9. Asma merupakan sebuah kondisi hiper responsifnya suatu otot polos bronkus terhadap berbagai rangsangan, sehingga terjadi penyempitan saluran udara disertai peningkatan sekresi. Dengan munculnya gejalanya meliputi mengi, batuk, dan sesak napas. Obat kimia anorganik yang dibutuhkan salbutamol digunakan dalam kondisi ini.
10. Penyakit kaki atlet (atau biasa disebut sebagai tinea pedis) merupakan suatu infeksi jamur superfisial pada stratum korneum kulit yang terletak di sela-sela jari kaki. Kimia obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah natrium pirofosfat.
11. Bisul merupakan suatu infeksi bakteri pada folikel rambut dan sekitarnya. Kimia obat anorganik yang digunakan pada saat muncul bisul seperti ini adalah magnesium sulfat.
12. Luka bakar adalah suatu cedera pada jaringan yang disebabkan karena adanya kontak dengan benda panas, radiasi listrik atau bahan kimia. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah perak nitrat, oksigen, zinc peroksida.
13. *Karbunkel* adalah infeksi bakteri yang menyebar di bawah kulit dan jaringan subkutan yang disertai dengan keluarnya nanah. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah magnesium sulfat.
14. *Kolesistitis* merupakan suatu peradangan kandung empedu yang dimulai dengan adanya penyumbatan dan diikuti dengan adanya infeksi kandung empedu. Ini bersifat akut dan kronis.
15. Alat bantu pembersih (scrub bedah) merupakan suatu obat kimia anorganik yang digunakan untuk membersihkan luka dan bisul maupun area yang terkena. Contoh soda terklorinasi.
16. *Konjungtivitis* merupakan suatu peradangan pada konjungtiva yaitu suatu selaput halus yang melapisi kelopak mata dan menutupi permukaan sklera yang terbuka. Kimia

- obat anorganik yang digunakan pada terapi ini adalah protein perak.
17. Jagung (Corn) adalah penebalan tanduk pada stratum korneum kulit jari kaki, yang disebabkan oleh gesekan dan tekanan dari sepatu yang tidak pas. Obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah perak nitrat, tembaga oleat.
 18. Ketombe merupakan suatu selaput bersisik kering yang terkelupas dari kulit kepala. Kimia obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah selenium sulfida, antimon sulfida, kadmium sulfida.
 19. Karies gigi merupakan penyakit gigi yang disebabkan adanya asam yang dihasilkan dari suatu reaksi mikroorganisme pada karbohidrat. Hal ini ditandai dengan dekalsifikasi gigi disertai bau mulut yang tidak sedap. Obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah natrium fluorida, strontium dan fluorida lainnya.
 20. Infeksi kulit atau yang biasa disebut dengan dermatitis merupakan respon inflamasi terhadap berbagai agen yang bekerja pada kulit baik dari luar maupun dari dalam tubuh seperti bahan kimia, obat-obatan, hipersensitivitas terhadap berbagai agen dan hapten dll. Kimia obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah kadmium sulfida.
 21. Diare merupakan suatu kondisi peningkatan frekuensi atau penurunan konsistensi buang air besar. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah garam rehidrasi oral, bismut subkarbonat, kalsium karbonat, pengisi elektrolit.
 22. Disentri merupakan suatu diare disertai kram perut, tenesmus, dan keluarnya lendir pada tinja dengan tipe basiler dan amuba. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah semua senyawa bismut (seperti bismut subkarbonat dan bismut subgallat).
 23. *Eklamsia* merupakan kondisi serius yang berhubungan dengan tekanan darah tinggi dalam kondisi hamil yang dapat menyebabkan kejang, koma, sebelum atau selama

atau segera setelah melahirkan. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah magnesium sulfat.

24. Eksim merupakan suatu respon inflamasi terhadap berbagai agen yang bekerja pada kulit dari luar atau dalam tubuh seperti bahan kimia dan obat-obatan, hipersensitivitas terhadap berbagai antigen dan haptan. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah yodium (Semua larutan), fuller's earth dan kalamini.
25. Infeksi mata adalah suatu kondisi infeksi kelenjar sebacea pada *hordeolum* kelopak mata. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah asam borat, perak nitrat, boraks, protein perak, oksida merkuri kuning, seng sulfat.
26. Perut kembung merupakan suatu proses pelepasan sejumlah gas berlebih seperti hidrogen, metana, karbon dioksida dari usus ke anus selama tahap akhir pencernaan. Obat kimia anorganik yang digunakan dalam kondisi ini adalah arang aktif, magnesium silikat, dll.
27. *Gangren* atau biasa disebut Nekrosis jaringan merupakan suatu bentuk nekrosis jaringan yang ditambah dengan adanya suatu pembusukan, karena adanya iskemia. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah seng peroksida.
28. Radang gusi suatu kondisi peradangan pada gusi (seperti gusi berwarna merah dan bengkak). Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah seng iodida
29. *Hemodialisis* merupakan suatu penghapusan unsur -unsur tertentu dari darah melalui fenomena difusi dengan mempertahankan unsur-unsur normal di dalam darahnya. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini semuanya merupakan pengganti elektrolit.
30. Keasaman berlebih adalah suatu kondisi sekresi asam berlebihan di lambung. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah antasida (seperti aluminium hidroksida dan magnesium hidroksida).
31. *Hiperkalsemia* merupakan suatu kondisi adanya kelebihan kalsium dalam darah dengan gejala seperti kelemahan otot, kelelahan, depresi, mual, anoreksia dan sembelit. Obat kimia

- anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah natrium fosfat, natrium sulfat.
32. *Hiperhidrosis* merupakan suatu kelainan yang disebabkan oleh keringat berlebih. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah natrium pirofosfat.
 33. *Hipertiroidisme* ini disebut juga sebagai *tirotoksikosis*. Ini merupakan suatu keadaan hipermetabolik, klinis dan biokimia yang disebabkan oleh kelebihan produksi kelenjar tiroid pada kasus penyakit Graves, adenoma toksik dan gondok multinodular toksik. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah kalium perklorat.
 34. *Hipomagnesemia* merupakan suatu kondisi dimana kandungan magnesium di dalam plasma darah yang sangat rendah akibat malabsorpsi, dehidrasi, alkoholisme, atau penyakit ginjal dengan gejala seperti aktivitas neuromuskular. Obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah magnesium klorida.
 35. Tekanan *intrakranial* merupakan tekanan yang terjadi di dalam tengkorak dan juga di otak serta CSF. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah larutan garam hipertonik.
 36. Kekurangan zat besi merupakan suatu keadaan yang terjadi karena peningkatan metabolisme zat besi, malabsorpsi dari makanan atau tingginya ekskresi zat besi dari tubuh sehingga dapat mengakibatkan anemia hipokromik. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah semua senyawa besi (ferric amonium citrate, ferrous Sulphate dan ferrous fumarate).
 37. *Leishmaniasis* merupakan beberapa penyakit berbeda karena disebabkan oleh suatu organisme protozoa. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah natrium antimon glukonat.
 38. Luka ganas merupakan suatu penyakit yang terjadi akibat sel kanker yang menyusup ke kulit dan darah pendukungnya. Oksigen banyak digunakan dalam kondisi ini.

39. Depresi Manik adalah suatu perubahan siklik fase manik dan depresi gangguan bipolar. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah litium karbonat.
40. Rangsangan otot merupakan suatu kemampuan serat otot untuk merespon dengan cepat terhadap zat perangsang. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah kalsium glukonat.
41. *Osteoporosis* adalah suatu kondisi berkurangnya jumlah massa tulang akibat hilangnya protein tulang dan kalsium, hal ini dapat menyebabkan patah tulang setelah trauma. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini semuanya adalah senyawa kalsium dan fluorida.
42. *Dialisis peritoneal* merupakan suatu teknik yang dilakukan untuk melintasi membran rongga peritoneum dan digunakan dengan tujuan untuk menghilangkan bahan kimia beracun dari tubuh. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah natrium dan kalium asetat, pengisi elektrolit.
43. *Faringitis* merupakan suatu peradangan pada mukosa faring. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah iodium dan larutannya (larutan iodium encer, larutan iodium kuat, larutan iodium lemah).
44. Keracunan merupakan suatu zat, senyawa kimia maupun obat yang apabila tertelan, terhirup, atau diserap, diaplikasikan atau disuntikkan ke dalam atau dikembangkan di dalam tubuh, mempunyai reaksi kimia yang menyebabkan kerusakan pada struktur atau gangguan fungsi organ dalam tubuh, menimbulkan gejala, penyakit bahkan kematian. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah (penangkal digunakan dalam kasus ini) Keracunan sianida dengan obat kimia anorganik Natrium tiosulfat.
45. *Pruritis* merupakan suatu sensasi kulit yang tidak menyenangkan dengan meregangkan kulit untuk mendapatkan kelegaan. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah kalomel, merkuri amonia.

46. *Psoriasis* merupakan suatu dermatitis inflamasi kronis dengan lesi yang ditandai dengan papula dan plak berwarna merah kecoklatan yang ditutupi sisik halus berwarna putih keperakan. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah kalomel, merkuri amonia.
47. Infeksi cacing cincin merupakan suatu jenis infeksi jamur yang umum pada kulit. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah larutan belerang, yodium.
48. Kudis merupakan salah satu gangguan kulit atau dermatitis menular pada manusia dan berbagai hewan liar yang disebabkan oleh infeksi ringan "*sarcoptes scabiei*". Obat kimia anorganik yang digunakan dalam kondisi ini adalah belerang.
49. Terkejut adalah suatu sindrom klinis kolaps kardiovaskular yang mengancam nyawa, ditandai dengan penurunan akut volume darah sirkulasi efektif (*hipotensi*) dan perfusi sel dan jaringan yang tidak adekuat (*hipoperfusi*). Obat kimia organik seperti adrenalin dapat digunakan dalam kondisi ini.
50. Infeksi kulit merupakan suatu infeksi atau alergi apa pun karena patogen. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah zinc undecylenate.
51. Sakit tenggorokan merupakan suatu infeksi bakteri atau virus di tenggorokan, seperti flu biasa. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah yodium.
52. Terbakar sinar matahari merupakan suatu reaksi alergi mempengaruhi jaringan hidup kulit (seperti ruam). Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah calamine, titanium dioxide.
53. *Defisiensi tiroid* atau *hipotiroidisme* merupakan suatu keadaan klinis hipometabolik akibat produksi hormon tiroid yang tidak memadai dalam jangka waktu lama atau jarang karena resistensi jaringan perifer terhadap efek hormon tiroid. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah asam hidriodik, kalium iodida.
54. *Tirotoksikosis* merupakan suatu keadaan hipermetabolik dan biokimia yang disebabkan oleh kelebihan produksi

hormon tiroid. Obat anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah larutan yodium.

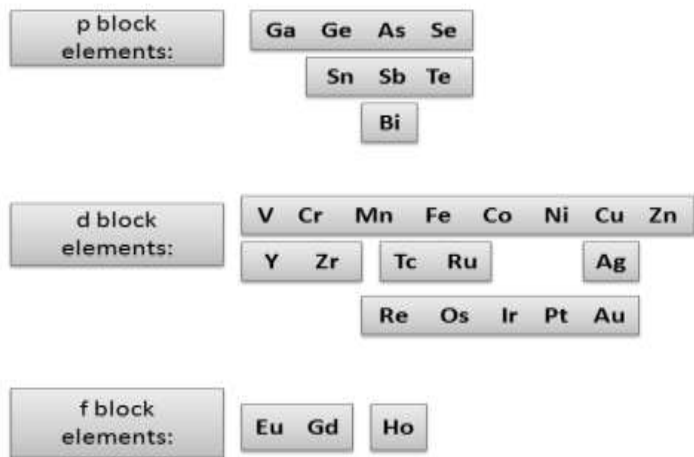
55. *Tonsilitis* terjadi dikarenakan oleh suatu bakteri yang disebut *stafilokokus* atau *streptokokus*, bisa akut maupun kronis yang ditandai dengan adanya kemerahan, pembesaran dan peradangan pada kelenjar amandel. Radang tenggorokan disebabkan oleh infeksi bakteri atau virus. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah yodium.
56. Tumor merupakan suatu pertumbuhan jaringan baru di mana penggandaan sel tidak terkendali dan progresif disebut juga "*neoplasma*". Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah cisplatin.
57. Bisul merupakan eksudasi permukaan organ atau jaringan, yang dihasilkan oleh pengelupasan jaringan nekrotik inflamasi.
58. *Ulkus duodenum* merupakan suatu bisul yang terbentuk karena sekresi asam klorida yang berlebihan dengan gejala seperti nyeri terus-menerus atau seperti terbakar di perut bagian atas yang dapat diatasi dengan mengonsumsi makanan, antasida, atau susu dingin. Ini mungkin infeksi yang disebabkan oleh bakteri (*H.Pylori*). Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah gel aluminium hidroksida.
59. Tukak lambung atau *peptikum* merupakan suatu degenerasi dan nekrosis mukosa gastrointestinal yang terkena sekresi asam-peptik; gejalanya adalah muntah, sepsis dan nyeri terbakar di perut bagian atas. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah senyawa bismut, magnesium trisilikat.
60. Ulkus kulit atau topikal menggunakan obat kimia anorganik berupa seng oksida.
61. Uremia atau kondisi kelebihan urea, kreatinin dan produk akhir nitrogen lainnya dari protein dan metabolisme asam amino dalam darah. Obat yang digunakan pada kondisi ini adalah cairan hemodialisis (atau) cairan dialisis peritonik.

62. *Urethritis* merupakan suatu peradangan uretra (nyeri atau sulit buang air kecil). Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah seng permanganat.
63. *Urtikaria* atau gatal-gatal merupakan kondisi timbulnya bintil-bintil pruritus (peningkatan area eritematosa edema) yang bersifat sementara, berulang, pada kulit, mukosa mulut, laring, dan saluran cerna. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah kalamina.
64. *Varises (Varikokel)* merupakan suatu pelebaran, pemanjangan, liku-liku vena pleksus pampiniferous di korda spermatis. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah timbaloleat.
65. Kutil atau lesi virus yang umum pada kulit yang disebabkan oleh virus papiloma manusia (HPV) dan pertumbuhannya kecil dan kasar yang biasanya terjadi pada tangan atau kaki manusia. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah perak nitrat.
66. Luka atau cedera merupakan kerusakan pada kulit. Obat kimia anorganik yang digunakan pada kondisi ini adalah hidrogen peroksida, zinc peroksida.

13.4 Peran Unsur Logam Dalam Kimia Obat-Obatan Anorganik

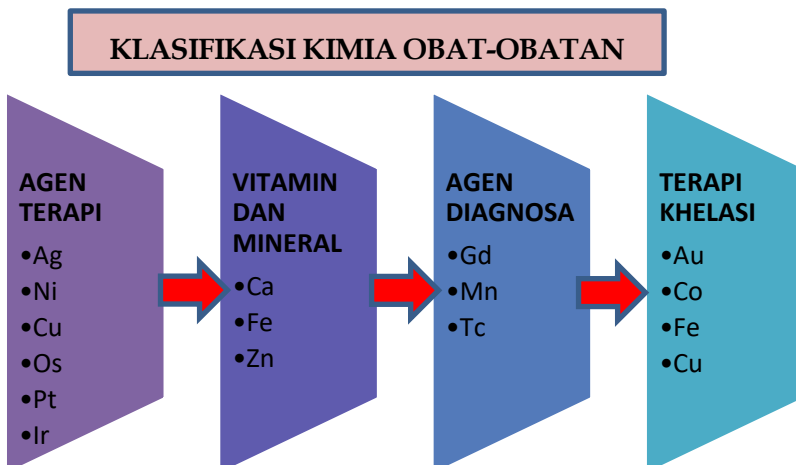
Menurut Muhammad Imran Din dkk. Pada tahun 2018 bahwasanya unsur logam telah lama dan banyak digunakan dalam dunia obat-obatan anorganik karena mempunyai peran penting dan signifikan dalam dunia biologis. Adanya unsur logam dan ikatan kimia pengkelatan dalam kimia obat-obatan anorganik dapat bermanfaat secara luas dalam dunia medis, seperti agen terapi, suplemen, agen diagnosa, dan terapi khelasi. Unsur-unsur logam yang banyak digunakan dalam dunia kimia obat-obatan anorganik diantaranya adalah unsur blok p, unsur blok d, dan unsur blok f. Unsur blok p merupakan unsur dengan elektron valensinya memasuki salah satu dari 3 orbital p pada kulitnya masing-masing, yaitu unsur Ga, Ge, As, Se, Sn, Sb, Te, dan Bi. Unsur blok d yaitu unsur kimia yang mempunyai elektron valensi yang memasuki salah satu diantara 5 orbital d pada kulitnya masing-masing seperti unsur V,

Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Tc, Ru, Ag, Re, Os, Ir, Pt, dan Au. Sedangkan unsur blok f adalah unsur-unsur kimia yang mempunyai elektron valensi dan memasuki salah satu diantara 7 orbital f pada kulitnya masing-masing seperti unsur Eu, Gd, dan Ho. Sebagaimana dalam gambar 13.1 dibawah ini (Din, Ali and Intisar, 2018).



Gambar 13.1. Jenis unsur logam yang digunakan dalam dunia kimia obat-obatan anorganik
(Sumber : (Din, Ali and Intisar, 2018))

Unsur-unsur logam tersebut dalam dunia kimia obat-obatan anorganik diklasifikasikan dalam beberapa jenis macam jenis obat sebagaimana dalam skema 13.2 dibawah ini (Din, Ali and Intisar, 2018):



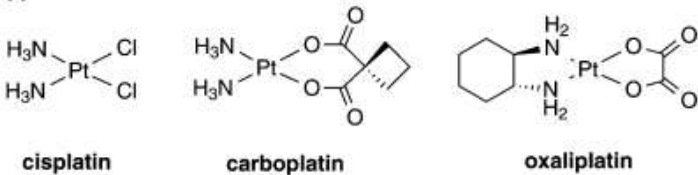
Gambar 13.2. Klasifikasi kimia obat-obatan anorganik
(Sumber : (Din, Ali and Intisar, 2018))

13.4.1 Senyawa Kompleks Logam Selain Cisplatin Sebagai Agen Terapi

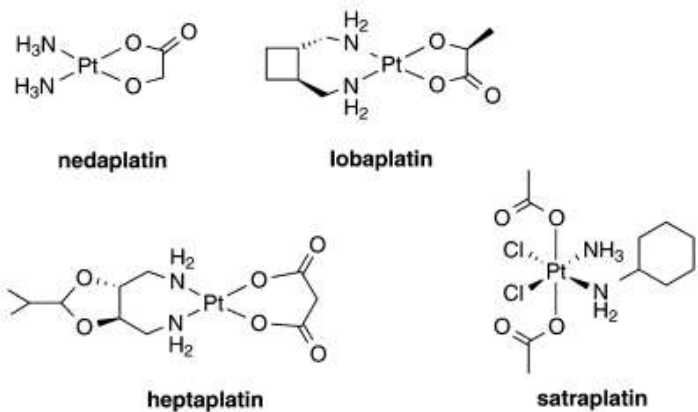
Senyawa cisplatin banyak digunakan untuk mendiagnosa karsinoma. Unsur logam lain seperti tembaga, iridium, titanium, emas, timah, germanium, bismut, rutenium, molibdenum, galium, rhodium juga dapat digunakan untuk agen anti-kanker. Hal ini terbukti karena logam-logam tersebut sebelumnya banyak berhasil digunakan sebagai senyawa yang efektif dalam melawan penyakit karsinogenik pada manusia dan hewan. Dalam tabel periodik, unsur golongan 3 sampai 12 merupakan logam transisi yang dikenal juga sebagai unsur blok d yang terisi setengah atau sebagian saja. Oleh karena itu, kompleks koordinasi terbentuk karena sebagian sub kulit orbital d terisi sebagian kemudian dikelilingi oleh ligan berupa anion atau molekul dengan atom pusat berupa kation logam. Senyawa cisplatin memberikan kontribusi besar dalam mengobati penyakit kanker testis yang mematikan. Setelah itu dilakukan penelitian dengan mengganti agen logam pada senyawa cisplatin dengan unsur logam lain kemudian mengujinya sebagai penyakit anti-kanker. Adanya perubahan unsur dapat menyebabkan perubahan struktur yang dapat bermanfaat dalam peningkatan aktivitas obat-obatan berbasis logam. Seperti obat-obatan berbasis platinum yaitu carboplatin, cisplatin, dan oxalipatin yang banyak digunakan pada kisaran 50-70% sebagai agen terapi pengobatan tumor. Senyawa cisplatin dan turunannya tidak digunakan untuk

semua jenis pengobatan kanker karena beberapa jenis tumor menolak dosis maksimum yang dapat ditoleransi. Jenis penyakit kanker yang rrsisten terhadap senaywa cisplatin adalah kanker payudara dan kanker prostat. Karena kanker payudara merupakan jenis kanker yang banyak terjadi pada wanita di Negara Eropa dan kanker prostat banyak terjadi pada pria di Amerika Serikat (Miranda, 2022).

Approved



Clinical trials (U.S.)



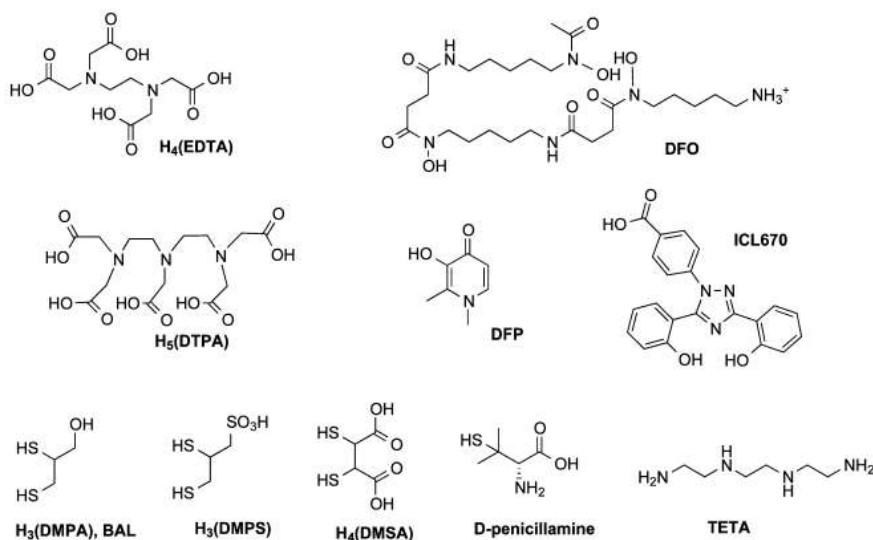
Gambar 13.3. Senyawa kompleks dengan logam platinum (Pt) yang digunakan dalam dunia medis yaitu senyawa kimia obat anorganik berbasis logam olatinum yang telah disetujui
(Sumber :(Miranda, 2022))

13.4.2 Peran Senyawa Pengkhelat Sebagai Agen Terapi Obat

Banyak khelat dari unsur logam yang berbeda-beda banyak digunakan sebagai agen terapi obat seperti Fe, Ir, Rh, dan lain sebagainya. Sebagai contoh unsur logam Iridium dan rhodium

sebagai agen pengkhelat suatu senyawa kompleks kimia mampu menghambat protein seperti enzim kinase yang digunakan sebagai penghambat enzim ubiquitin protease dan enzim aktif NEDD8, penghambat interaksi protein-protein. Selain itu, unsur logam kobalt sangat reaktif terhadap pertukaran ligan bioaktif karena berperan sebagai agen bioreduktif. Sifat kobalt (III) bertindak sebagai unsur yang inert dan mampu mereduksi menjadi unsur Co(II) lalu dengan cepat mensubstitusi ligan. Unsur besi atau Fe yang dianggap tidak aktif secara oral namun saat ini dengan desain senyawa barunya mampu menjadikannya tidak aktif secara oral tetapi juga mengurangi efek toksisitasnya menjadi hampir nol. Selain itu, besi (Fe) juga mampu digunakan sebagai obat terapi anti-kanker.

Pada semua makhluk hidup, ion logam homeostatis terdiri dari berbagai macam reaksi yang sangat kompleks dan beberapa logam sangat penting untuk kelangsungan hidup makhluk hidup. Akan tetapi ada beberapa yang tidak, seperti kasus keracunan akut atau penyakit kronis, konsentrasi ion logam asing atau esensial yang meningkat melebihi nilai normal yang direkomendasikan oleh komunitas medis. Ion logam yang tidak diinginkan dapat didistribusikan kembali atau dihilangkan melalui terapi khelasi yang berprinsip pada pemberian obat berupa zat kimia pengkhelasi. Zat kimia obat ini merupakan proligan. Untuk mengobati gangguan penyerapan logam secara efektif, ditemukan ion logam pengkhelat yang akan mengkomplekskannya dengan kuat kemudian mendorong sekresinya keluar dari dalam tubuh. Karena bahan ion logam pengkhelat ini tidak secara selektif mengkomplekskan ion logam yang tidak diinginkan, maka selama proses terapi akan memunculkan beberapa masalah. Dalam terapi keracunan logam, ada dua kondisi medis yang dibedakan sedangkan obat proligan tidak boleh bersaing dengan tempat pengikatan logam alami manapun dalam kasus keracunan kronis.



Gambar 13.4. Senyawa logam pengkhelat yang telah disetujui
(Sumber : (Mjos and Orvig, 2014))

Keracunan akut dari logam dan metaloid seperti alumunium, arsenik, bismut, timah organik, bismut, talium, seng yang berbahaya seringkali terjadi karena kelebihan gizi, paparan pestisida, paparan lingkungan, maupun pekerjaan. Penelitian terkait pengobatan keracunan logam seperti adanya infus intravena kalsium atau seng poliamina karboksilat seperti asam etilendiaminetetraasetat (H_4EDTA , $Ca_2(EDTA)$, gambar 20.4) dan asam diethylenetriaminepentaacetic (H_5DTPA , $ZnNa_3(DTPA)$) dikembangkan akan tetapi kompleks logamnya diserap buruk oleh tubuh di saluran pencernaan.

Selama Perang Dunia II, tokoh British Anti-Lewisite menggunakan senyawa kimia 2,3-dimerceptopropanol (H_2DMPA , BAL) sebagai senyawa kimia penangkal senjata kimia Lewisite yaitu 2-chloroethenyldichloroarsine, yang disebut “Embun Kematian”. Asam meso-2,3-dimerkaptosuksinat (H_4DMSA) dan D, L-2,3,- asam dimerkaptopropana-1-sulfonat (H_3DMPS) dari tahun 1950-an dikenal dengan stabilitas biologisnya yang tinggi.

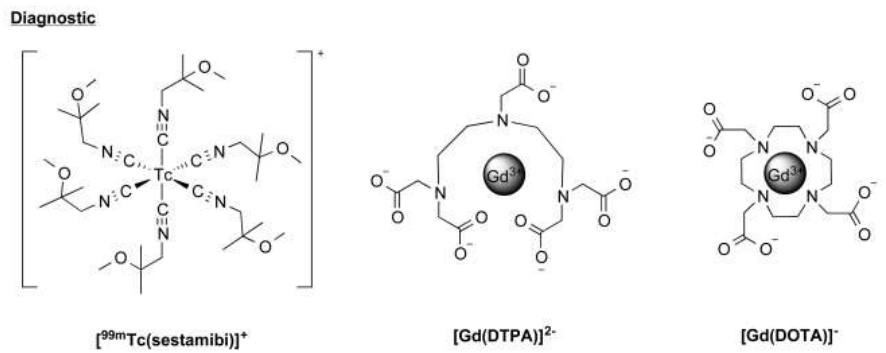
Thalassemia dikenal sebagai kelainan bawaan autosomal resesif yang dikarenakan produksi hemoglobin yang tidak

mencukupi. Tergantung pada kadar hemoglobin, seseorang dapat membedakan antara kelainan ringan atau kelainan besar yang menyebabkan anemia berat; keduanya menyebabkan kelebihan zat besi baik dari makanan kaya zat besi atau dari komplikasi akibat seringnya transfusi darah selama pengobatan. Terapi pengkhelet besi dengan ligan multidentat adalah pengobatan pilihan untuk talasemia β , yang juga dikenal sebagai talasemia yang bergantung pada transfusi (Mjos and Orvig, 2014). Desferrioxamine yang diberikan secara parenteral dan deferiprone dosis oral, sendiri atau dikombinasikan, adalah pengobatan pilihan pertama.

Penyakit Wilson (WD) disebabkan oleh mutasi homozigot atau senyawa heterozigot pada gen ATP7B (OMIM-606882) pada kromosom 13q14 (OMIM-277900). Ini adalah kelainan resesif autosomal yang ditandai dengan disfungsi beberapa enzim yang bergantung pada tembaga yang menyebabkan akumulasi racun tembaga terutama di hati dan otak, yang mengakibatkan cacat pertumbuhan dan neurologis, serta gejala kejiwaan. Saat ini, ada tiga pilihan pengobatan untuk WD yang tersedia: dua adalah agen pengkhelet (D-penicillamine atau TETA) yang membantu ekskresi tembaga, sedangkan sediaan oral seng asetat bekerja sebagai agen transmetalasi dan berhasil menghambat penyerapan ion tembaga di saluran usus. Agen obat logam yang menjanjikan dalam pengembangannya, dapat menghambat protein dengan adanya tembaga melalui pembentukan gugus logam yang didasarkan pada bahan aktif agen penipis tembaga tetrathiomolybdate (TM, MoS₂₄-). Amonium tetrathiomolibdat [(NH₄)₂(MoS₄)] dan bis-(choline)tetrathiomolybdate (ATN-224, Decuprate. Senyawa tersebut telah diuji dalam uji klinis melawan WD dan kanker, dan kanker (Brewer, G. J.; Hedera, P.; Kluin, K. J.; Carlson, M.; Askari and Dick, R. B.; Sitterly, J.; Fink, 2003).

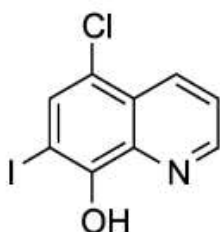
Agen logam pengkhelet seperti pada gambar 20.4 yaitu asam diethylenetraminepentacetate [H₅-DTPA] dan 1,4,7,10-tetraazacyclododecane-1,4,7,10-asam tetra asetat [H₄-DOTA] yang dikomplekskan menjadi $4f^7$ Gd³⁺ yang sangat paramagnetik yang banyak digunakan sebagai agen makrosiklik yang disuntikkan untuk pemindaian MRI. Agen [Gd(DTPA)]²⁻ telah disetujui oleh FDA pada

tahun 1988 sedangkan agen $[Gd(DOTA)]^-$ baru disetujui pada Maret 2013.

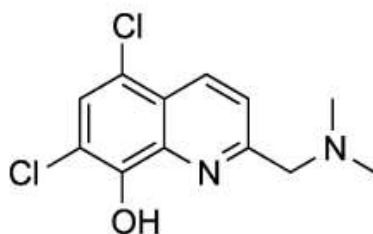


Gambar 13.5. Senyawa logam pengompleks $[Gd(DTPA)]^{2-}$ dan $[Gd(DOTA)]^-$
(Sumber : (Mjos and Orvig, 2014))

Salah satu obat yang digunakan untuk mengurangi gejala pada penyakit neurodegeneratif seperti disfungsi otak yang biasa disebut alzheimer dan penyakit parkinson seperti mengurangi tremor, penurunan kognitif akan melambat adalah senyawa kimia anorganik ferelex, DP-109, JKL-169, atau ligan tertentu. Pengobatan kimia anorganik ini fokus pada khelasi dan penghilangan tembaga, seng, dan besi dari otak. Fakta bahwa obat-obatan yang berlebihan harus melewati bawah sadar otak (BBB) dan untuk melewati otak merupakan tantangan yang besar. Senyawa kimia obat anorganik seperti *clioquinol*, *5-chloro-7-iodo-quinolin-8-ol*, obat antijamur dan *antiprotozoal* oral yang dikenal mampu melintasi BBB dan menghambat ion seng dan tembaga berikatan dengan amiloid (Gambar 20.6) (Ritchie, C. W.; Bush, A. I.; Mackinnon, A.; Macfarlane *et al.*, 2003).



clioquinol



PBT2

Gambar 13.6. Dua senyawa logam anorganik pengkhelat dalam dunia klinis dan medis yang diuji-cobakan untuk terapi sebuah penyakit neurodegeneratif

(Sumber : (Ritchie, C. W.; Bush, A. I.; Mackinnon, A.; Macfarlane *et al.*, 2003))

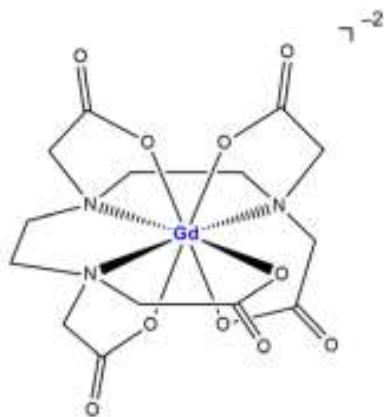
13.4.3 Pentingnya Kompleks Logam Sebagai Agen Mri (Pencitraan Resonansi Magnetik)

Dalam proses pencitraan khususnya operator pencitraan, kompleks logam sangat penting karena digunakan sebagai agen MRI dalam berbagai infeksi seperti masalah otak besar, penyakit jantung, dan lain sebagainya. Kompleks logam ini digunakan juga untuk menentukan berbagai jenis penyakit seperti adanya hipoksia jaringan serta untuk mengidentifikasi resistensi berbagai macam jenis obat. Hal ini terjadi karena muatan pusat logam ini positif kemudian bergabung dengan pusat biomolekul negatif seperti nukleat dan protein sehingga adanya proses interaksi biologis dapat diamati termasuk permulaan trobus sebagai gambaran infeksi.

Pencitraan resonansi magnetik (MRI) telah menjadi metode diagnostik yang terkenal dalam pengobatan modern. Setiap tahunnya, puluhan juta prosedur MRI dilakukan di seluruh dunia serta diperkirakan zat kontras berbahan dasar gadolinum (III) yang digunakan mencapai 40% (Lohrke, J.; Frenzel, T.; Endrikat, J.; Alves, F. C.; Crist, T. M.; Law, J. M.; Leiner, T.; Li, K.; Nikolaou, K.; Prince, M. R.; Schild and Weinreb, J.; Yoshikawa, K.; Pietsch, 2016). Kimia anorganik pertama untuk MRI yang disetujui adalah Gd (III) gadopentetate yang dijual dengan nama dagang Magnevist. Ada tiga

karakteristik utama dari agen Gd (III) diantaranya adalah sebagai berikut (Lohrke, J.; Frenzel, T.; Endrikat, J.; Alves, F. C.; Crist, T. M.; Law, J. M.; Leiner, T.; Li, K.; Nikolaou, K.; Prince, M. R.; Schild and Weinreb, J.; Yoshikawa, K.; Pietsch, 2016) :

1. Sifat paramagnetik dari Gd (III) yang tinggi, karena sifat paramagnetik unsur kimia yang digunakan mempengaruhi waktu relaksasi putaran inti hidrogen (H) dari air yang merupakan prinsip fisika dasar dalam sebuah MRI. Sifat Gd (III) sangat paramagnetik karena memiliki salah satu momentum orbital magnetik terbesar disebabkan 7 atom yang tidak berpasangan pada orbital 4f. Hal inilah yang menyebabkan Gd (III) sangat signifikan dalam mengurangi waktu relaksasi atom hidrogen terkoordinasi sehingga hasil MRI yang lebih cepat dan lebih baik (Laufer, 1987).
2. Atom Gd (III) mempunyai stabilitas in vivo dengan agen pengkhelat yang tinggi. Atom Gd (III) yang radikal atau bebas sangat beracun maka dibutuhkan agen pengkhelat octadentate untuk berikatan menjadi Gd (III) kompleks dengan sifat kinetik yang inert yang dapat mendeteksi secara in vivo suatu agen kontras dalam tubuh manusia. Akan tetapi ada beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa akumulasi Gd (III) pada sistem saraf pusat dengan penggunaan dalam jangka panjang. Akan tetapi sejauh ini Gd (III) ini masih aman dan belum ditemukan efek toksik yang teridentifikasi secara pasti (Choi, J. W.; Moon, 2019).
3. Hasil diagnostik yang berkualitas dan tidak didapatkan dengan cara lain. penggunaan bahan kontras pada MRI menghasilkan pencitraan hasil jaringan lunak (software) yang lebih cepat dan lebih baik dibandingkan teknik non-invasif lainnya, yaitu computerized tomography (CT) dan positron Emission Tomography (PET) (U.S. Food and Drug Administration (FDA), no date).



Gambar 13.7. Struktur senyawa logam anorganik gadopentetate sebagai agen kontras MRI pertama dalam dunia medis
(Sumber : (Miranda, 2022))

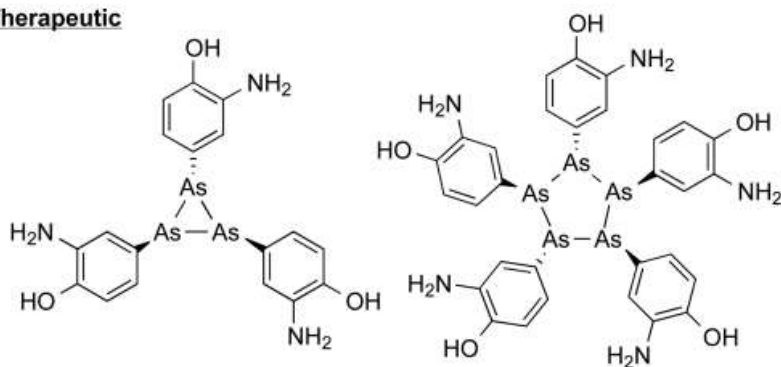
13.4.4 Kompleks Logam Sebagai Agen Antimikroba

Penelitian saat ini telah banyak berkembang dan menjelaskan bahwa banyak mikroorganisme yang resisten terhadap berbagai jenis obat, oleh karena itu dikembangkan senyawa kimia obat yang melibatkan ion logam. Bakteri *S. Aureus* yang resisten terhadap methisilin, enterococci yang resisten terhadap vancomycini, serta patogen lainnya yang banyak berkembang di Negara Eropa dan Amerika Serikat. Beberapa jenis mikroorganisme terus mempengaruhi kehidupan manusia, oleh karena itu dibutuhkan terapi khusus yang efektif sehingga dapat menghasilkan agen antimikroba baru. Obat-obatan berbasis ion logam telah banyak menggantikan beberapa obat organik yang banyak digunakan untuk pengobatan karena dengan adanya ligan dan ion logam dapat memberikan efek sinergis untuk suatu pengobatan terapi. Dari beberapa penelitian telah dijelaskan bahwa senyawa kompleks logam dalam suatu antibiotik yang mengandung gugus kuinolin seperti ciprofloxacin, tetracycline, dan norfloxacin mempunyai aktivitas yang tidak hanya sekedar antibiotik saja. Hal ini dikarenakan adanya penambahan senyawa kompleks dapat meningkatkan aktivitas dari senyawa tersebut. Adanya pengkompleksan senyawa dengan ion logam dapat memberikan

jalan pengangkutan suatu ligan organik ke dalam atau menuju ke sel bakteri (Din, Ali and Intisar, 2018).

Beberapa kompleks paladium telah dilaporkan sangat efektif dalam melawan beberapa mikroorganisme yang resisten. Contohnya seperti, senyawa kompleks Pd (II) tetrasiklin yang 16x lebih kuat dalam melawan strain bakteri tetrasiklin, *E. Coli* HB101/pBR322, dibandingkan dengan senyawa induk. Senyawa doksisisiklin Paladium (II) 2x lebih kuat dalam melawan mikroorganisme daripada doksisisiklin. Penelitian terkait senyawa kompleks timah menunjukkan aktivitas antimikroba seperti kompleks organotin (IV) dengan N-alkylsatin bithiocarbonohydrazones dan isatin. Logam lain yang dapat digunakan sebagai agen anti-mikroba adalah merkuri dan garam perak. Ion logam tembaga (Cu) telah dikenal sebagai agen anti-jamur, dalam dunia medis aktivitas antimikroba kompleks perak (I) dan tembaga (II) dari senyawa kompleks 2-piridil-1H-benzimidazol telah diketahui efektif sebagai antimikroba (Mjos and Orvig, 2014).

Therapeutic

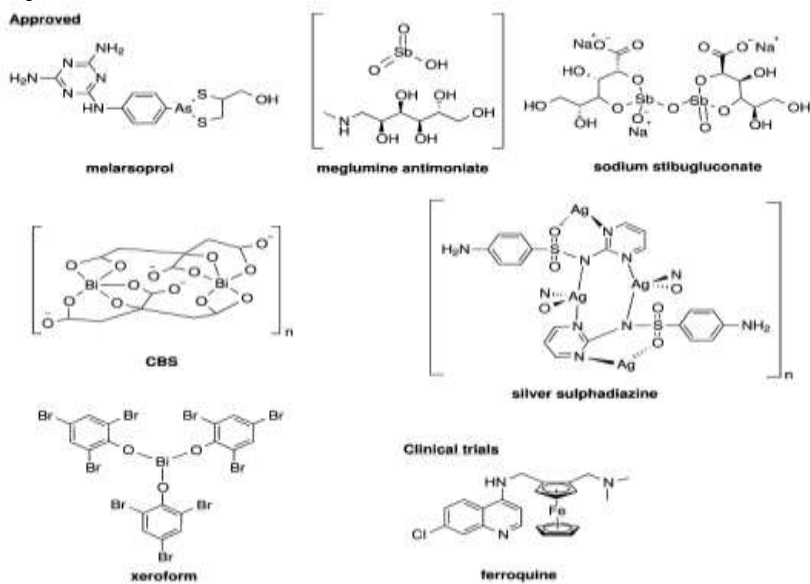


cyclic species as models for **salvarsan**

Gambar 13.8. Senyawa siklik kompleks model salvarsan
(Sumber : (Mjos and Orvig, 2014))

Agen antimikroba berbasis Arsenik pertama kali dikembangkan oleh Paul Ehrlich yaitu senyawa 3-amino-4-hidroksifenil-arsenik (III) di tahun 1912 yang efektif melawan sifilis. Senyawa kimia ini mampu menyerang mikroba sifilis tanpa menyerang sel inangnya (Rosenberg, B.; VanCamp, L.; Krigas, 1965).

Obat ini telah digunakan secara luas pada manusia dan digunakan menjadi standar obat sifilis hingga digantikan dengan senyawa penisilin setelah Perang Dunia II. Senyawa yang ditemukan Paul E. Ini menjadi pelopor kehadiran dan pengembangan kimia obat berbasis logam anorganik (Rosenberg, B.; VanCamp, L.; Trosko, J. E.; Mansour, 1969). Selanjutnya. Muncullah obat cisplatin (platinol) sebagai anti-kanker pada tahun 1965 pada saat Barnett Rosenberg dan Loretta VanCamp di Michigan State University yang mempelajari pengaruh arus listrik terhadap E. Coli. Hal tersebut dapat menghambat pertumbuhan sel dan pembelahan sel oleh produksi cis-diamminedichloroplatinum(II) yang berasal dari elektroda platina yang selanjutnya dikembangkan menjadi obat anti-tumor dan anti-kanker (Alderden, R. A.; Hall, M. D.; Hambley, 2006).



Gambar 13.9. Obat kimia anorganik yang digunakan sebagai obat anti-mikroba dan anti-parasit yang telah disetujui dan dalam uji klinis

(Sumber : (Mjos and Orvig, 2014))

Obat bismut subsitrat (CBS, De-Nol) atau ranitide bismut sitrat (RBC, Pylorid, Tritec) digunakan untuk mengobati tukak

lambung karena bakteri *H. Pylori*. Infeksi karena bakteri ini dapat menyebabkan maag (tipe B), tukak saluran cerna dan kanker lambung. Obat bismut subsitrat (CBS, De-Nol) atau ranitide bismut sitrat (RBC, Pylorid, Tritec) digunakan mengobati ini. Klaritromisin telah menjadi antibiotik pilihan untuk membunuh bakteri, namun kekuatannya semakin berkurang seiring dengan meningkatnya resistensi bakteri. Resistensi yang didapat ini sebagian dapat diatasi melalui pemberian klaritromisin bersamaan dengan CBS atau RBC saja, atau dalam kombinasi dengan antibiotik kedua (amoksisilin) dan penghambat pompa proton (omeprazole) (Malfertheiner, P.; Bazzoli, F.; Delchier, J.-C.; Celiński and Giguere, M.; Rivière, M.; Megraud, 2011).

Penggunaan eksternal tribromophenatbismuth(III), xeroform, karena sifat antimikrobanya, pertama kali dijelaskan pada akhir abad ke-19. Dulu xeroform sering digunakan sebagai pengganti iodoform dalam pengobatan luka. Saat ini, kain kasa petrolatum oklusif yang mudah diresapi dengan 3% bismuth tribromophenate dijual dengan nama Xeroform. Senyawa bismut-tiol telah dipelajari secara luas karena sifat antimikrobanya dan saat ini dipasarkan sebagai pengobatan luka kronis, seperti tukak kaki diabetik; BisEDT seharusnya mencegah pembentukan pertumbuhan biofilm pada luka (De Boer, W. A.; Van Etten, R. J.; Van De Wouw and Schneeberger, P. M.; Van Oijen, A. H.; Jansen, 2000).

Logam lain yang banyak digunakan dalam pengobatan luka dan penanganan infeksi adalah perak (Eckhardt, S.; Brunetto, P. S.; Gagnon, J.; Priebe, M.; Giese and Fromm, 2013). Salep sulfonamida topikal seperti perak sulfadiazin (Silvadene, Silverex, Silvazine, SSD, Thermazene) digunakan dalam bentuk krim atau larutan encer (garam perak 1%) untuk mencegah dan mengobati infeksi akibat luka bakar tingkat dua atau tiga, meskipun tampaknya demikian penggunaan sediaan perak dalam pengobatan luka bakar sudah terkenal secara tradisional dan efektivitasnya dipertanyakan dan dievaluasi akhir-akhir ini. Sejak tahun 1976, cerium nitrate-silver sulphadiazine (Flammacerium) telah digunakan sebagai pengobatan topikal untuk sebagian besar luka bakar kulit yang tidak memerlukan eksisi segera, diyakini dapat mengurangi respons inflamasi terhadap luka bakar, mengurangi kolonisasi bakteri, dan

memberikan lapisan keras (keropeng) untuk penanganan luka yang lebih mudah (Garner, J. P.; Heppell, 2005).

13.5 Strategi Desain Metalodrug Atau Kimia Obat Anorganik Berbasis Logam

Banyak obat kimia anorganik berbasis logam yang saat ini beredar di pasaran ditemukan secara bebas. Sebagaimana dalam penemuan beberapa obat kimia anorganik berbasis logam terkenal seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Berdasarkan penemuan generasi pertama seperti cisplatin, obat generasi selanjutnya telah dikembangkan dengan mempelajari, menganalisis, dan mengkaji secara cermat mekanisme kerja serta alasan efek samping yang tidak diinginkan dari obat generasi pertama. Sesuai dengan contoh obat platinum untuk terapi kanker, obat tersebut adalah carboplatin (generasi kedua), satraplatin (generasi ketiga), dan agen berikutnya nedaplatin, lobaplatin, dan heptaplatin. Selama beberapa tahun terakhir, ahli kimia obat anorganik sangat fokus dalam mengembangkan obat dari penemuan awal yang tidak disengaja, yang tidak diragukan lagi menjadi dasar dalam mendesain obat yang lebih baik lagi.

Bagian ini menjelaskan proses serta tahapan perancangan dan pengembangan obat secara umum termasuk keuntungan dan tantangan yang timbul dari penggunaan ion logam. Proses dan tahapan dalam mendesain kimia obat anorganik berbasis logam diantaranya adalah sebagai berikut (Mjos and Orvig, 2014):

1. Menemukan target obat yang akan didesain

Pendekatan rasional dalam merancang obat metal pada prinsipnya tidak jauh berbeda dengan merancang obat berdasarkan molekul organik kecil atau molekul biologis. Langkah pertama adalah identifikasi keseluruhan target penyakit dan penjelasan spesifik target molekuler yang terkait dengan etiologi dan patologi penyakit tersebut. Untuk menentukan target yang diduga, ahli kimia obat tradisional menggunakan disiplin ilmu genomik dan proteomik. Dalam melengkapi genomik dan proteomik, ahli kimia anorganik obat menyerukan bidang metalomik yang sedang berkembang untuk mendukung validasi target.

Metalomik mengacu pada karakterisasi keseluruhan spesies logam dan metaloid yang ada dalam suatu jenis sel atau jaringan, serta interaksinya dengan genom, transkriptome, proteom, dan metabolom (Mjos and Orvig, 2014).

Tujuan akhir dari bidang baru ini adalah untuk memahami secara komprehensif serapan, kinerja, fungsi, dan ekskresi logam dalam sistem biologis makhluk hidup. Spesies yang diminati untuk metalomik adalah kompleks elemen jejak dan senyawanya dengan biomolekul endogen atau yang diinduksi secara biologis seperti asam organik, protein, gula, atau fragmen DNA. Target lain obat metallodrug adalah DNA itu sendiri. Keempat basa mengandung nitrogen dan oksigen sebagai atom donor yang dapat diikat dengan ion logam, N-7 dari adenin dan guanin dalam alur utama DNA heliks ganda menjadi salah satu situs pengikatan yang paling penting. Dalam interaksi pengikatan kovalen koordinatif dengan DNA, ion logam dapat menghubungkan kedua gugus fungsi untuk membentuk ikatan silang *intrastrand*, berikatan hanya dengan basa pada rantai kimia yang sama dengan cara saling berikatan silang antar rantai, atau membentuk ikatan dengan sisi asam amino. rantai protein tetangga, yang disebut ikatan silang protein-DNA. Selain itu, molekul obat yang kecil, planar, dan sebagian besar bersifat hidrofobik dapat meluncur ke bagian dalam heliks di mana mereka dapat berinterkalasi di antara pasangan basa secara nonkovalen. Apa yang disebut obat logam pengikat DNA mode ganda tidak hanya berikatan secara kovalen dengan DNA tetapi juga melakukan interkalasi, sementara obat logam lain secara selektif menargetkan urutan tertentu (Mounicou, S.; Szpunar, J.; Lobinski, 2009).

2. Mendesain senyawa kompleks logam dan menemukan kecocokan model senyawa kompleks dengan berbagai macam jenis desain

Desain model struktural senyawa kimia yang dapat dibangun di sekitar ion logam, jika molekul organik kecil

dan molekul biologis tampak kurang variatif maka perlu didesain ulang untuk mencari kecocokan model senyawa kompleks. Meskipun molekul obat hanya bergantung pada karbon, geometri ikatannya dalam sebuah ruang 3 dimensi yang ditentukan oleh prinsip hibridisasi, [sp (linier), sp^2 (segitiga-planar), dan sp^3 (*tetrahedral*)] akan tetapi beragam geometri dalam ruang 3D sangat banyak variasi yang dapat dicoba untuk obat yang mengandung ion logam. Selain geometri linier, bidang persegi, dan *tetrahedral*, bentuk *piramidal*, *trigonal bipiramidal*, dan *oktahedral* dapat dibuat (bahkan bilangan koordinasi dan geometri yang lebih tinggi dengan ion logam yang lebih besar), semua hal itu sangat penting untuk proses keberlangsungan makhluk hidup atau biologis. Dengan semakin banyaknya substituen di sekitar pusat logam, variasi *stereoisomer* dan *fleksibilitas* stereokimia secara umum meningkat untuk membuka keragaman dalam struktur 3D. Ion logam menentukan koordinasi ligan dengan konfigurasi 3D yang tepat (Meggers, 2007).

3. Mempelajari sifat-sifat fisika dan kimia yang berkaitan dengan farmasi sebuah senyawa kompleks obat anorganik berbasis logam yang telah didesain

Setelah target ditemukan, kemampuan obatnya perlu dieksplorasi. Oleh karena itu, diperlukan proses pemilihan agen senyawa yang telah dibuat untuk dilakukan uji agen terapi dengan potensi baru terhadap target yang diinginkan. Dalam penelitian obat, studi literasi suatu senyawa yang banyak dilakukan dalam bentuk skrining atau pengujian berbasis sel dengan kualitas yang bagus. Ada dua pendekatan umum yang saling melengkapi untuk memvalidasi target. Dalam pendekatan kimia, penghambat molekul kecil dapat digunakan untuk mengamati aktivitas-aktivitas fungsional suatu target, memberikan informasi tentang bukti kimia mengenai kemampuan obat dari target atau toksisitas selektif yang menguntungkan terhadap patogen versus inang (sel,

jaringan, atau seluruh hewan). Pendekatan genetik dapat diklasifikasikan menjadi metodologi *knockout* gen target (seringkali model tikus) dan metodologi *knockdown* target asam ribonukleat (RNA) (Wyatt, P. G.; Gilbert, I. H.; Read, K. D.; Fairlamb, 2011).

Karena penemuan obat pada umumnya merupakan proses penelitian yang berbiaya tinggi, penting untuk mengenali kandidat obat awal yang bermasalah dan target molekuler yang tidak dapat diobati yang kemungkinan besar akan gagal (misalnya banyaknya gen yang tidak dapat diobati) maka untuk menghemat biaya dilakukan studi literasi non-laboratorium ini dahulu. Kandidat obat yang kemungkinan besar akan berhasil. Hal yang paling penting adalah meningkatkan kesesuaian dan ketahanan agen kimia yang masuk ke tubuh makhluk hidup. Hal ini berkaitan langsung dengan stabilitas termodinamika dan kinetik *in vivo*. Penting untuk memahami bagaimana molekul obat mempengaruhi tubuh, serta bagaimana tubuh memberikan efek pada molekul obat. Mengembangkan informasi ini lebih sulit dalam penelitian obat-obatan logam, karena kimia obat-obatan logam dapat berinteraksi dengan berbagai molekul biologis di dalam tubuh.

4. Mempelajari sifat farmakokinetik dari senyawa kompleks kimia obat anorganik berbasis logam baik stabilitas termodinamika dan labilitas kinetik senyawa tersebut

Obat yang tidak mampu mencapai target molekulernya di dalam tubuh memiliki sifat *farmakokinetik* yang buruk. Karakteristik farmakokinetik ditentukan oleh konsep ADME: sifat penyerapan, distribusi, metabolisme, dan ekskresi molekul obat dari dalam tubuh makhluk hidup. Informasi tentang sifat ADME obat dan metabolitnya pada manusia (serta pada hewan yang digunakan untuk uji toksikologi) sangat penting untuk mengetahui perbedaan efek antar spesies dan untuk mengoptimalkan dosis obat secara umum. Karakteristik farmakokinetik suatu obat

sangat berkaitan erat dengan sifat fisikokimia seperti kelarutan, lipofilisitas, dan stabilitas, yang secara kasar dapat dimodelkan dengan menentukan koefisien partisi oktanol dalam air (log-P). Pengukuran ini berguna dalam memprediksi pengikatan protein, distribusi jaringan, dan penyerapan di saluran pencernaan makhluk hidup khususnya manusia.

Untuk obat yang diberikan secara oral, penyerapan dan bioavailabilitas yang memadai harus dicapai. Hal ini merupakan sebuah tantangan sebuah senyawa kimia obat-obatan metallodrugs. Banyak obat logam yang diberikan secara *intravena* karena kelarutannya yang terbatas dalam formulasi oral, kebutuhan untuk memberikan sejumlah kecil ion logam untuk menghindari efek samping toksik, dan kurangnya stabilitas kompleks logam-ligan dalam perjalanannya melalui berbagai tingkat pH dalam tubuh. lambung dan usus. Pendekatan baru untuk proses farmakokinetik suatu obat kimia anorganik berbasis logam diperlukan dan akhir-akhir ini menjadi topik perbincangan hangat. Di antaranya senyawa kimia nanopartikel membuka peluang baru dalam pengiriman, serapan sel, dan penargetan yang lebih baik.

5. Studi praklinis

Selain validasi target dan penilaian farmakologis, serangkaian studi yang pertama tentang metabolisme *in vitro* dari kandidat obat dan beberapa studi toksisitas awal sering kali dimasukkan dalam uji praklinis. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah kandidat obat cocok untuk medis atau tidak. Metabolisme obat dapat dipelajari pada sel hati (*hepatosit*) dan enzim *sitokrom P450*, sedangkan permeabilitas sel sering diuji pada sel *MDCK* dan atau *Caco-2*. Uji *permeabilitas* sel *Caco-2* telah diadopsi secara luas untuk memahami proses penyerapan obat *gastrointestinal*. Pada tahap ini, toksisitas dievaluasi dalam studi *sitotoksitas in vitro* dan selanjutnya dilakukan studi dosis akut tunggal pada hewan (tikus, tikus, anjing) untuk

menetapkan dosis maksimum yang dapat ditoleransi (*MTD*) (Pritchard, J. F.; Jurima-Romet, M.; Reimer and E.; Rolfe, B.; Cayen, 2003). Kandidat pengembangan obat yang memenuhi tes awal dan studi toksikologi lanjutan yang ekstensif dianggap cukup aman untuk dilanjutkan ke uji klinis.

6. Studi klinis

Pengujian kandidat obat di klinik dimulai dengan fase 0. Penelitian eksplorasi obat baru yang bersifat investigasi terhadap beberapa individu sehat di mana para sukarelawan ini menerima kurang dari 1% dosis obat terapi yang diteliti selama maksimal tujuh hari diikuti oleh fase I dengan farmakokinetik dan toksikologi awal dievaluasi pada individu sehat terutama dalam pemeriksaan keamanan. Obat baru yang diuji pertama kali pada pasien yang menderita penyakit target dalam uji klinis fase II. Pada tahap ini, kemanjuran obat yang diteliti ditentukan. Tantangan dalam uji klinis fase II terletak pada desain penelitian itu sendiri. Bagaimana hasil penelitian yang diinginkan dapat dijelaskan dengan jelas? Apa titik akhir kesuksesan yang pasti? Pasien mana yang dapat dipilih untuk penelitian ini? Seringkali pertanyaan-pertanyaan ini dibahas sampai kriteria bukti konsep untuk studi klinis akhirnya dapat didefinisikan dengan jelas.

Khususnya di bidang *onkologi* dan penyakit pada sistem saraf pusat (SSP), terbukti sulit untuk menetapkan sinyal kemanjuran yang jelas. Misalnya, pada masa awal penelitian obat antikanker, tujuan kemanjurannya adalah mengecilkan tumor, dan untuk obat metal seperti cisplatin, hal ini merupakan cara yang dapat diterima (dan mudah) untuk mengevaluasi kinerja obat. Sebaliknya, pengembangan obat baru seperti senyawa berbasis *rutenium*, *NAMI-A* dan *KP1019*, tidak bertujuan secara eksklusif untuk mengurangi jaringan ganas namun, lebih jauh lagi, menargetkan angiogenesis untuk menghindari metastasis.

Untuk memanfaatkan sepenuhnya potensi kimia obat anorganik berbasis logam, sangatlah penting untuk memahami apa yang terjadi pada senyawa kimia kompleks koordinasi dan komponen-komponennya, logam dan ligan, setelah kompleks logam-ligan saat mulai memasuki tubuh. Sejauh mana metabolit aktif dapat didefinisikan untuk obat yang pada dasarnya merupakan kendaraan pengantar ion logam untuk mengalami disosiasi dan pertukaran ligan setelah diberikan? Peran apa yang dimainkan oleh desain ligan itu sendiri dalam hal ini? Apakah sifat farmakologis dan toksikologi obat kimia anorganik berbasis logam yang baru dapat diprediksi berdasarkan studi yang lebih baik tentang spesiasi ion logam secara *in vivo*? Bagaimana keadaan oksidasi logam mempengaruhi hal ini? Seberapa pentingkah pertimbangan termodinamika versus kinetik untuk obat logam dalam tubuh? Apa yang masih perlu dipelajari dari biokimia logam dan distribusi ion logam dalam tubuh manusia? Ini adalah hal mendasar yang melatar belakangi permasalahan yang diajukan bertahun-tahun hingga saat ini. Obat-obatan kimia berbasis logam masih memiliki potensi yang luar biasa untuk membantu umat manusia mengatasi resistensi obat dan menemukan obat baru dalam dunia kedokteran serta farmasi.

13.6 Farmakope Di Negara Indonesia

Farmakope berasal dari bahasa Yunani yaitu kata "*pharmakon*" yang bermakna obat, baik obat-obatan maupun racun dan kata "*poiein*" yang bermakna membuat atau menciptakan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kata "*farmakope*" mempunyai arti buku yang berisi petunjuk identifikasi sampel dan penyiapan obat dalam jumlah banyak yang diterbitkan oleh otoritas pemerintah atau kelompok organisasi masyarakat kedokteran maupun farmasi. Oleh karena itu, farmakope merupakan sebuah peraturan perundang-undangan suatu negara yang mengatur segala hal atau standar serta indeks mutu wajib untuk suatu senyawa obat-obatan, bahan baku yang digunakan serta proses produksinya (Jain, K.S., Ilango, K., Miniyar, 2018).

Dalam proses produksi suatu senyawa obat kimia maka setiap negara mempunyai undang-undang yang ditetapkan berdasarkan nilai standar mutu bahan, kualitas, serta proses produksi berupa buku yang biasa disebut *farmakope*. Di negara Indonesia, farmakope diterbitkan oleh Badan Resmi Pemerintah Indonesia sebagai buku acuan dasar pembuatan obat farmasi. Buku Farmakope Indonesia terbaru adalah edisi VI yang terbit pada tahun 2023 dengan segala perubahan yang berkaitan dengan dunia obat-obatan yang ada di Negara Indonesia. Buku ini digunakan sebagai syarat umum, monografi sediaan umum, serta monografi bahan obat. Selain itu buku ini juga berisi lampiran-lampiran yang berkaitan dengan informasi serta penjabaran suatu metode analisis dan teknik pengujian yang ada dalam monografi, yang mencakup pengujian, penetapan secara umum, mikrobiologi, biologi, kimia dan fisika.

Farmakope Indonesia ini digunakan untuk memastikan bahwa obat yang beredar di Indonesia telah memenuhi standar kualitas, keamanan, dan efektivitas yang telah ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia. Sehingga masyarakat Indonesia dapat memperoleh obat yang berkualitas dan aman untuk dikonsumsi baik dalam jangka pendek maupun dalam jangka panjang.

13.7 Kesimpulan

Kimia obat anorganik telah berkembang dalam 5 abad terakhir ini menjadi kimia obat anorganik berbasis logam. Dari hasil penelitian telah banyak terbukti bahwa kimia anorganik logam efektif dan banyak digunakan untuk mengobati suatu penyakit, mendiagnosa penyakit, sebagai agen pencitraan MRI, dan lain sebagainya. Banyak penelitian yang mengembangkan unsur logam dan senyawa kimia kompleks untuk kebutuhan medis dan klinis. Adanya penguatan studi pra-klinis serta klinis pada senyawa kimia kompleks berbasis logam dapat dijadikan sebagai landasan peningkatan kualitas obat-obatan kimia berbasis logam. Telah dicontohkan beberapa obat-obatan kimia berbasis logam yang disetujui secara klinis dan kandidat obat-obatan berbasis logam dalam uji klinis tingkat lanjut. Baik untuk terapi maupun diagnosis, keberadaan logam merupakan hal mendasar bagi aktivitas obat

logam. Fungsi dari ion logam dalam senyawa kimia obat berbasis logam diantaranya yaitu pembawa obat sederhana hingga bio-konjugat yang kompleks, obat logam mempunyai fungsi yang luas dalam pengobatan modern. Tidak hanya untuk masalah kesehatan besar, seperti gangguan bipolar dan kanker, namun juga untuk kondisi ringan dan langka.

Tidak diragukan lagi, ahli kimia obat anorganik obat memiliki seluruh tabel periodik dengan spektrum sifat fisika-kimianya yang luas serta siap untuk dieksplorasi lebih lanjut. Memahami sifat kimia suatu logam dan memanipulasinya sesuai kebutuhan yang diperlukan dalam prospek obat merupakan tantangan yang sangat berat. Namun, perkembangan kimia anorganik obat masih berjalan sangat lambat dibandingkan dengan bidang kimia lain dalam kimia obat dan faktor utama yang masih membatasi pengembangan obat logam adalah kesalahpahaman tentang peran logam dalam sistem biologis tubuh manusia dan hewan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alderden, R. A.; Hall, M. D.; Hambley, T.W. 2006. 'Education of Chemistry', *J. Chemical*, 83(728).
- De Boer, W. A.; Van Etten, R. J.; Van De Wouw, B.A. and Schneeberger, P. M.; Van Oijen, A. H.; Jansen, J.B. 2000. 'Aliment', *Pharmacol*, 14(85).
- Brewer, G. J.; Hedera, P.; Kluin, K. J.; Carlson, M.; Askari, F. and Dick, R. B.; Sitterly, J.; Fink, J.K.A. 2003. 'Neurol', 60(379).
- Choi, J. W.; Moon, W.J. 2019. 'Gadolinium Deposition in the Brain: Current Updates', *Korean Journal Radiol*, 20, pp. 134–147.
- Din, M.I., Ali, F. and Intisar, A. 2018. 'Metal Based Drugs and Chelating Agents as Therapeutic Agents and Their Antimicrobial Activity', *ACADEMIA ROMANA*, 64(January), pp. 5–17. Available at: <https://doi.org/10.33224/rch.2019.64.1.01>.
- Eckhardt, S.; Brunetto, P. S.; Gagnon, J.; Priebe, M.; Giese, B. and Fromm, K.M. 2013. 'No Title', *Chemical Reviews*, 113(4708).
- Garner, J. P.; Heppell, P.S. 2005. 'No Title', *Journal Burns*, 31(379).
- Jain, K.S., Ilango, K., Miniyyar, P.B. 2018. *Pharmaceutical Inorganic Chemistry*. Second Edi. PUNE, MUMBAI: NIRALI PRAKASHAN Press.
- Lauffer, R.B. 1987. 'Paramagnetic Metal Complexes as Water Proton Relaxation Agents for NMR Imaging: Theory and Design', *Chemical Reviews*, 87(901–927).
- Lohrke, J.; Frenzel, T.; Endrikat, J.; Alves, F. C.; Crist, T. M.; Law, M. L., J. M.; Leiner, T.; Li, K.; Nikolaou, K.; Prince, M. R.; Schild, H.H. and Weinreb, J.; Yoshikawa, K.; Pietsch, H. 2016. '25 Years of Contrast Enhanced MRI: Developments, Current Challenges and Future Perspectives.', *Advanced Materials Research*, 33, pp. 1–28.
- Malfertheiner, P.; Bazzoli, F.; Delchier, J.-C.; Celiński, K. and Giguere, M.; Rivière, M.; Megraud, F. 2011. 'The Pylera Study Group', *Lancet*, 377(905).
- Meggers, E.C. 2007. 'Chem. Biol.', *Opin*, 11(287).

- Miranda, V. 2022. 'Medicinal Inorganic Chemistry: An Updated Review on the Status of Metallodrugs and Prominent Metallodrug Candidates', *Reviews in Inorganic Chemistry*, 42(1), pp. 29–52. Available at: <https://doi.org/10.1515/revic-2020-0030>.
- Mjos, K.D. and Orvig, C. 2014. 'Metallodrugs in Medicinal Inorganic Chemistry', *Chemical Reviews*, 114, pp. 4540–4563.
- Mounicou, S.; Szpunar, J.; Lobinski, R. 2009. 'No Title', *Chem. Soc. Rev.*, 38(1119).
- Pritchard, J. F.; Jurima-Romet, M.; Reimer, M.L.J. M. and E.; Rolfe, B.; Cayen, M.N. 2003. 'No Title', *Nature Reviews Drug Discovery*, 2(542).
- Ritchie, C. W.; Bush, A. I.; Mackinnon, A.; Macfarlane, S.. *et al.* 2003. 'Neurol', *Archives of Pharmacal Research*, 60(1685).
- Rosenberg, B.; VanCamp, L.; Krigas, T. (1965) 'Nature', 205, p. 698.
- Rosenberg, B.; VanCamp, L.; Trosko, J. E.; Mansour, V.H. 1969. 'Nature', 222(385).
- U.S. Food and Drug Administration (FDA) (no date) *MRI (Magnetic Resonance Imaging)*.
- Wyatt, P. G.; Gilbert, I. H.; Read, K. D.; Fairlamb, A.H. 2011. 'Med. Chem.', *Curr.Top.*, 11(1275).
- Zamboanga, U. de 2020. 'Pharmaceutical Inorganic Chemistry', in *Pharmaceutical Inorganic Chemistry*. Bachelor Study of Civil Engineering, pp. 1–36.

BIODATA PENULIS



I Wayan Tanjung Aryasa, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medik
Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan Universitas Bali Internasional

Penulis bernama lengkap I Wayan Tanjung Aryasa, tempat lahir Denpasar, 13 Maret 1986, ia adalah anak pertama dari dua bersaudara. Jenjang pendidikan penulis adalah merupakan lulusan S1 Kimia ITS dan S2 Kimia ITB, dan sekarang mengabdikan sebagai dosen pengajar di Universitas Bali Internasional program studi Teknologi Laboratorium Medik. Selain mengajar ia juga aktif menulis beberapa buku yaitu buku Kimia Organik dan Green technology innovation : transformasi teknologi ramah lingkungan berbagai sektor, Mineralogi dan Kimia Dasar: Panduan Lengkap untuk Pemula serta penelitian-penelitian yang berkaitan dengan ilmu kimia.

BIODATA PENULIS



Henny Parida Hutapea, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi Kimia Industri
Politeknik Santo Paulus Surakarta

Penulis lahir di Singkawang tanggal 07 Juni 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kimia Industri Politeknik Santo Paulus Surakarta sejak tahun 2016. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia di Universitas Negeri Yogyakarta dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Kimia di Universitas Gadjah Mada. Selain pernah mengajar Kimia Dasar, Kimia Organik, Kimia Atsiri dan lainnya yang berkaitan dengan Kimia, penulis menekuni bidang Menulis. Harapannya dapat lebih banyak berkontribusi terhadap perkembangan ilmu kimia agar ilmu dan pembelajaran dapat diakses dengan mudah oleh semua orang.

BIODATA PENULIS



Elianasari, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi D3 Farmasi
Akademi Farmasi Cendikia Farma Husada

Penulis lahir di Lampung Selatan tanggal 18 Juni 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D3 Farmasi, Akademi Farmasi Cendikia Farma Husada Lampung. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung Tahun 2012 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada Tahun 2013 melalui program Beasiswa Calon Dosen dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) dan lulus pada Tahun 2015. Penulis menekuni bidang Menulis.

BIODATA PENULIS



Aliyah Fahmi S.Si, M.Si

Dosen Kimia di Universitas Efarina, Pematang Siantar

Ketertarikan penulis terhadap ilmu kimia sejalan dengan studi Penulis yang berkaitan dengan Ilmu Kimia. Penulis memulai perkuliahan pada program studi D3 Analis Kimia di Universitas Sumatera Utara, yang dilanjutkan S1 Kimia pada tahun 2005 s/d 2007. Penulis kemudian melanjutkan perkuliahan pada jenjang magister di tahun 2014 s/d 2016 dan menjadi Dosen Kimia di Universitas Efarina, Pematang Siantar. Penulis ditempatkan di Fakultas Kesehatan, tepatnya di Program Studi D3 Analis Kesehatan atau Analis Teknik Laboratorium Medik. Saat ini, Penulis sedang dalam studi S3 terkait Ilmu Kimia. Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh Penulis didanai oleh LPDP dan Kemenristek DIKTI. Selain menjadi Peneliti, Penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara Indonesia. Email Penulis: aliyahfahmi0984@gmail.com

BIODATA PENULIS



Dr. Eka Cahya Muliawati, S.Si., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Penulis lahir di Surabaya tanggal 26 Juni 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia Universitas Airlangga, S2 pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro dan melanjutkan S3 pada Jurusan Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menekuni bidang Teknologi Membran dan Polimer.

BIODATA PENULIS



Muawanah, ST., M.Si.

Dosen Program Studi D3 Teknologi Laboratorium Medis
Politeknik Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Pekkae tanggal 15 Juni 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D3 Teknologi Laboratorium Medis Politeknik Muhammadiyah Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Kimia Universitas Muslim Indonesia dan melanjutkan S2 pada Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin. Penulis menekuni bidang ilmu Biokimia dan Toksikologi Klinik.

BIODATA PENULIS



Pra Dian Mariadi, S.Si., M.T (1985-2023)

Dosen Program Studi DIV Teknologi Laboratorium Medis
Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Katolik Musi Charitas

Pra Dian Mariadi, S.Si., M.T lahir di Palembang, 13 Maret 1985 merupakan anak kedua dari 3 bersaudara Lulus Sarjana (S1) di Program Studi MIPA Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Sriwijaya tahun 2007. Tahun 2012 lulus di Magister Teknik Bidang Ilmu Energi dan Lingkungan, Universitas Sriwijaya. Banyak prestasi yang telah dicapai baik dalam bidang akademik dan non akademik sesuai dengan disiplin ilmu dalam bidang kimia. Qadarullah, Pra Dian Mariadi, S.Si., M.T. meninggal dunia ketika buku ini belum selesai diterbitkan. Buku ini merupakan karya terakhir Almarhum, semoga menjadi amal jariyah dan mendapatkan pahala di surga firdaus. Amin Ya Rabbal Alamiin.

BIODATA PENULIS



Sry Astuti, S.Si., S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Kimia
Universitas Syekh Yusuf Al-Makassari Gowa

Penulis lahir di Soro-Bima tanggal 25 Juni 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kimia, Universitas Syekh Yusuf Al-Makassari Gowa. Penulis Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia dan Pendidikan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) di Universitas Negeri Makassar (UNM) dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pendidikan Kimia Program Pascasarjana di Universitas Negeri Makassar (UNM). Penulis menekuni bidang Menulis.

BIODATA PENULIS



Dr. Waode Rustiah, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Pangkep pada tanggal 30 Januari 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 tahun 2002 pada Jurusan Kimia di Universitas Hasanuddin, dan melanjutkan S2 pada tahun 2005 di Institut Teknologi Bandung (ITB) pada bidang konsentrasi Kimia Analitik. Pada tahun 2019 telah menyelesaikan pendidikan S3 pada Program Doktor Ilmu Kimia di Universitas Hasanuddin.

BIODATA PENULIS



Khoirul Ngibad, S.Si., M.Si.
Dosen Program Studi D3 TLM
Fakultas Ilmu Kesehatan

Lulus Program Sarjana di Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang tahun 2013, lulus Program Magister di Program Studi Magister Kimia Universitas Brawijaya Tahun 2015. Saat ini merupakan dosen tetap Program Studi D3 TLM (Teknologi Laboratorium Medis) Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Maarif Hasyim Latif Sidoarjo. Mengampu mata kuliah Kimia Air dan Kimia Makanan Minuman. Telah menulis Buku Ajar Kimia Air I, Buku Pedoman Praktikum Kimia Air, dan Buku Pedoman Praktikum Kimia Makanan Minuman. Selain itu, penulis juga pernah sebagai ketua LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat) sejak tahun 2019 sampai 2023. Penulis sekarang mendapat tugas tambahan sebagai Wakil Rektor III Bidang Kemahasiswaan, Kreativitas, PMB dan Alumni.

BIODATA PENULIS



Neny Rochyani

Dosen Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas PGRI Palembang

Penulis lahir di Palembang tanggal 09 Juni 1971. Menikah dengan Gonan Sumadi dan telah dikaruniai dua orang putra Muhammad AufarNurhasyim Arrambani dan Ahmad Fadlan Abdullah Latif Alghazali (alm). Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik kimia Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang. Menyelesaikan pendidikan S1, S2 pada Jurusan Teknik kimia dan melanjutkan S3 pada program studi ilmu lingkungan dengan bidang kajian utama adalah agro industri energi. Menyandang Insinyur profesional Madya (IPM) dan ASEAN Eng. Penulis dalam menekuni bidang penulisan karya ilmiah, sampai dengan saat ini telah menghasilkan karya ilmiah utamanya penelitian yang berhubungan dengan materi ilmu kimia dan lingkungan dengan kajian utama pada restorasi dan pendalaman karakteristik lingkungan objek penelitian sebagai kekuatan dalam pengelolaan lingkungan dengan pendekatan bidang teknik kimia. Dalam ranah penulisan buku, sampai dengan saat ini telah menghasilkan buku materi ajar dan modul paktikum yang dipakai dan diaplikasikan pada lingkungan perguruan tinggi.

BIODATA PENULIS



Erlinda

Staf Dosen Jurusan Teknik Kimia

Penulis lahir di Bangkalan tanggal 09 Juni 1984. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Menyelesaikan Pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia. Penulis menekuni bidang Energi terbarukan.

BIODATA PENULIS



Siti Nurul Afifah, M.Si.

Dosen Program Studi Kimia di salah satu Perguruan Tinggi Swasta di Kota Malang.

Penulis lahir di Kota Malang tanggal 28 Oktober 1991. Penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia dengan fokus riset kimia analitik dengan topik analisis cemaran logam berat dalam berbagai jenis makanan dan analisis penyakit fenilketonurinea (FKU) pada bayi yang baru lahir dengan adanya penerapan strip tes uji penyakit FKU serta melanjutkan S2 pada Jurusan Kimia dengan topik riset sintesis dan reaksi kimia bahan alam serta reaksi katalisis kimia organik pada senyawa-senyawa asam abietat (AA) yang terkandung dalam getah pinus. Judul tesisnya adalah "Studi Reaksi dan Transformasi Konversi Asam Abietat Dari Gondorukem Berbasis Variasi Katalis Logam Transisi Menjadi Produk Derivat Asam Dehidroabietat Serta Uji Anti-Bakterinya".

Penulis menyukai dunia pendidikan sehingga penulis mendirikan sebuah Lembaga Bimbingan Belajar (LBB) *Hybrid* Berbasis Multiintelegransi Insan Adzkia Malang serta mengembangkan Lembaga Pendidikan Islam (LPI) TPQ – MADIN Al Ikhlas Malang yang nantinya penulis bercita-cita akan mengembangkan yayasannya menjadi lembaga pendidikan islam (LPI) yang mencakup lembaga pendidikan islami formal maupun non-formal. Penulis juga merintis Lembaga "Rumah Cerdas Qur'an Malang" dimana lembaga ini memberikan dana beasiswa bagi

santri-santri berprestasi yang menuntut ilmu di Lingkungan Lembaga Pendidikan Islam (LPI) TPQ-MADIN Al Ikhlas Malang dan LBB Hybrid Berbasis Multiintelegenssi Insan Adzkia Malang. Penulis juga mempunyai semangat antusiasme dalam berorganisasi sejak di bangku kuliah S1 hingga saat ini, sehingga penulis aktif dalam Organisasi Forum Pendidikan Quran (FKPQ) Kota Malang dalam mengorganisir lembaga-lembaga TPQ atau Pendidikan Quran agar menjadi lembaga pendidikan berkualitas. Selain itu penulis juga mempunyai bakat dan hobi dalam dunia kepenulisan, khususnya menulis artikel ilmiah kimia. Sehingga penulis aktif dalam menulis beberapa artikel ilmiah kimia baik berupa jurnal maupun buku.