

KIMIA DASAR: PANDUAN LENGKAP UNTUK PEMULA



**Nur Yusaerah, Qadri Rasyid, Ani Qomariyah,
Eka Cahya Muliawati, Andis Sugrani, Hestina,
Herlina Rahim, Aliyah Fahmi, I Wayan Tanjung Aryasa,
Henny Parida Hutapea, Ariani H. Hutuba, Melani Ganing,
Muhrinsyah Fatimura, Siti Nurul Afifah**

KIMIA DASAR: PANDUAN LENGKAP UNTUK PEMULA

**Nur Yusaerah
Qadri Rasyid
Ani Qomariyah
Eka Cahya Muliawati
Andis Sugrani
Hestina
Herlina Rahim
Aliyah Fahmi
I Wayan Tanjung Aryasa
Henny Parida Hutapea
Ariani H. Hutuba
Melani Ganing
Muhrinsyah Fatimura
Siti Nurul Afifah**



GET PRESS INDONESIA

KIMIA DASAR: PANDUAN LENGKAP UNTUK PEMULA

Penulis :

Nur Yusaerah
Qadri Rasyid
Ani Qomariyah
Eka Cahya Muliawati
Andis Sugrani
Hestina
Herlina Rahim
Aliyah Fahmi
I Wayan Tanjung Aryasa
Henny Parida Hutapea
Ariani H. Hutuba
Melani Ganing
Muhriyasyah Fatimura
Siti Nurul Afifah
Eka Cahya Muliawati

ISBN : 978-623-198-681-8

Editor : Dr. Neila Sulung, S.Pd., Ns., M.Kes.

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, 9 September 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 Dasar: Panduan Lengkap Untuk Pemula ini.

Buku ini membahas Konsep dasar kimia dasar, Struktur atom, Table periodic, Reaksi kimia, Senyawa kimia, Termokimia, Kestimbangan kimia, Kimia asam dan basa, Elektrokimia, Kimia organik, Kimia anorganik, Kimia analitik, Pemanfaatan kimia dalam industry, Inovasi dalam kimia, Tantangan dalam kimia dasar.

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, 9 September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 KONSEP DASAR KIMIA DASAR	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Konsep Dasar Kimia Dasar	1
1.3 Pengertian Kimia Dasar Menurut Ahli	3
1.4 Jenis Hukum Dasar Kimia	4
1.5 Macam-macam Cabang Ilmu Kimia.....	9
1.6 Manfaat Mempelajari Ilmu Kimia	11
DAFTAR PUSTAKA	12
BAB 2 STRUKTUR ATOM	15
2.1 Pendahuluan.....	15
2.1.1 Gagasan Awal Atom Demokritus	15
2.1.2 Gagasan Awal Atom Dalton.....	16
2.1.3 Teori Atom Lanjutan Thomson.....	18
2.1.4 Model Nuklir Rutherford	20
2.2 Struktur Atom.....	22
2.2.1 Elektron	22
2.2.2 Proton dan Inti Atom	23
2.2.3 Neutron	24
DAFTAR PUSTAKA	27
BAB 3 TABEL PERIODIK.....	29
3.1 Tabel Periodik Panjang.....	31
3.1.1 Jalur Horizontal	32
3.1.2 Jalur Vertikal.....	33
3.2 Hubungan Tabel Periodik dengan Sifat Unsur	36
3.2.1 Elektron Valensi.....	36
3.2.2 Jari-jari Atom.....	37
3.2.3 Energi Ionisasi dan Kelogaman.....	38

DAFTAR PUSTAKA.....	42
BAB 4 REAKSI KIMIA	43
4.1 Definisi	43
4.2 Ciri-ciri terjadi reaksi kimia	47
4.3 Faktor – faktor penyebab terjadinya reaksi kimia.....	49
4.4 Macam-macam Reaksi Kimia	52
DAFTAR PUSTAKA.....	55
BAB 5 SENYAWA KIMIA	57
5.1 Mengenal Senyawa Kimia	57
5.2 Jenis Senyawa Kimia	59
5.2.1 Senyawa Organik.....	59
5.2.2 Senyawa Anorganik.....	59
5.2.3 Senyawa Ionik.....	59
5.2.4 Senyawa Kovalen	60
5.2.5 Senyawa Logam.....	60
5.2.6 Senyawa Kompleks.....	60
5.2.7 Senyawa Hidrida.....	60
5.2.8 Senyawa Aromatik.....	60
5.2.9 Senyawa Polimer	61
5.2.10 Senyawa Kompleks Organometalik.....	61
5.3 Sifat-Sifat Senyawa Kimia.....	61
5.3.1 Sifat Fisik.....	62
5.3.2 Sifat Kimia.....	63
5.4 Penamaan Senyawa Kimia	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
BAB 6 TERMOKIMIA	69
6.1 Pendahuluan	69
6.2 Istilah-Istilah Dalam Termokimia	69
6.3 Keadaan Sistem.....	70
6.4 Sifat-Sifat Sistem.....	71
6.5 Jenis-Jenis Proses.....	71
6.5.1 Proses Isotermal	72
6.5.2 Proses Adiabatis.....	72

6.5.3 Proses Reversibel	72
6.5.4 Proses Irreversibel	73
6.6 Keadaan Standar	73
6.7 Reaksi Eksotermik Dan Endotermik	73
6.8 Persamaan Reaksi Termokimia	74
6.9 Hukum Termodinamika Pertama	76
6.9.1 Energi Dalam (U)	76
6.9.2 Panas (q) dan Kerja (w)	77
6.9.3 Kerja Ekspansi	77
6.9.4 Entalpi	78
6.10 Hubungan Antara ΔH dan ΔU	78
6.11 Entalpi Standar Reaksi	80
6.11.1 Entalpi Pembentukan (ΔH_f°)	80
6.11.2 Entalpi Pembakaran (ΔH_c°)	81
6.11.3 Entalpi Netralisasi (ΔH_{net}°)	81
6.12 Hukum Hukum Termokimiay	81
6.12.1 Hukum Lavoiser-Laplace	81
6.12.2 Hukum Hess	82
6.13 Energi Ikatan	84
DAFTAR PUSTAKA	89
BAB 7 KESETIMBANGAN KIMIA	91
7.1 Pendahuluan	91
7.2 Konsep Dasar Keseimbangan Kimia	92
7.3 Hukum Aksi Massa	93
7.4 Keseimbangan dalam Proses Fisik	95
7.5 Keseimbangan dalam Proses Kimia	100
7.6 Jenis-jenis Keseimbangan Kimia	105
7.6.1 Keseimbangan Homogen	106
7.6.2 Keseimbangan Heterogen	107
7.7 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Keseimbangan	
Kimia	110
7.7.1 Tekanan	111
7.7.2 Volume	112

7.7.3 Suhu.....	112
7.7.4 Konsentrasi	113
7.7.5 Katalis.....	113
7.7.6 Penambahan Gas Inert.....	114
DAFTAR PUSTAKA.....	115
BAB 8 KIMIA ASAM DAN BASA	117
8.1 Pendahuluan	117
8.2 Teori Asam Basa.....	120
8.3 Identifikasi Asam Basa	124
8.4 Keseimbangan Asam Basa	129
8.5 pH dan pOH.....	131
8.6 Derajat Ionisasi	132
8.7 Sistem Pengaturan Keseimbangan Asam Basa	
Dalam Tubuh	133
DAFTAR PUSTAKA.....	136
BAB 9 ELEKTROKIMIA	139
9.1 Potensial Elektroda, E	139
9.2 Potensial Elektroda Standar, E°	146
9.3 Kerja Listrik, ΔG° , dan Perubahan Spontan.....	150
9.4 E° sel sebagai Fungsi Konsentrasi	151
9.5 Baterai: Menghasilkan Listrik melalui Reaksi Kimia.....	152
9.6 Korosi: Sel Volta yang tidak diinginkan	159
9.7 Elektrolisis: Perubahan Kimia yang tidak Spontan.....	162
DAFTAR PUSTAKA.....	164
BAB 10 KIMIA ORGANIK.....	165
10.1 Pendahuluan	165
10.2 Struktur dan Ikatan Senyawa Organik.....	166
10.2.1 Pengenalan Karakteristik Atom Karbon.....	166
10.2.2 Isomer.....	169
10.3 Hidrokarbon.....	172
10.3.1 Senyawa Alifatik.....	173
10.3.2 Senyawa Siklik.....	175
10.4 Gugus Fungsi.....	176

10.5 Reaksi Senyawa Organik.....	178
DAFTAR PUSTAKA	181
BAB 11 KIMIA ANORGANIK.....	183
11.1 Pendahuluan	183
11.2 Reaksi Anorganik.....	184
11.2.1 Termodinamika Pembentukan Senyawa.....	184
11.2.2 Elektrokimia.....	186
11.2.3 Oksidasi Reduksi.....	188
11.2.4 Asam Basa.....	191
DAFTAR PUSTAKA.....	197
BAB 12 KIMIA ANALITIK	199
12.1 Pendahuluan	199
12.2 Ruang Lingkup Kimia Analitik.....	200
12.2.1 Analisis Kandungan	200
12.2.2 Analisis Struktur.....	200
12.2.3 Analisis Distribusi	201
12.2.4 Analisis Proses.....	201
12.3 Tahapan-Tahapan Analisa Kimia.....	202
12.4 Kimia Analisis Kualitatif.....	204
12.4.1 Uji Pendahuluan	204
12.4.2 Analisis Kualitatif-Kation.....	209
12.5 Kimia Analisis-Kuantitatif	213
12.5.1 Metode Klasik.....	213
12.5.2 Metode Instrumentasi	219
12.6 Peran Kimia Analitik.....	222
DAFTAR PUSTAKA.....	224
BAB 13 PEMANFAATAN KIMIA DALAM INDUSTRI	225
13.1 Pendahuluan	225
13.2 Dasar-dasar pemanfaatan kimia dalam industri.....	226
13.2.1 Konsep Dasar pemanfaatan Kimia Dalam Konteks Industri.....	226
13.2.2 Reaksi Kimia utama yang dimanfaatkan dalam proses industri.....	228

13.2.3 Sifat dan Karakteristik bahan kimia yang penting dalam pemanfaatan industri	230
13.3 Inovasi Pemanfaatan Kimia Dalam Industri	232
13.3.1 Inovasi dalam sintesis dan produksi bahan kimia	232
13.3.2 Nanoteknologi dalam industri kimia.....	234
13.3.3 Proses Hijau (<i>Green Chemistry</i>) dalam industri.....	236
13.4 Pemanfaatan Kimia dalam Industri Spesifik.....	238
13.4.1 Kimia Farmasi dan Bioteknologi	238
13.4.2 Kimia Petrokimia dan Energi	239
13.4.3 Kimia Material dan Manufaktur	241
13.4.4 Kimia Pangan dan Gizi.....	242
DAFTAR PUSTAKA.....	244
BAB 14 INOVASI DALAM KIMIA.....	249
14.1 Pengertian Inovasi.....	249
14.2 Ciri dan Karakteristik Inovasi	250
14.3 Jenis-Jenis Inovasi	251
14.4 Komponen Inovasi	252
14.5 Tahapan dan Proses Inovasi	253
14.6 Inovasi Kimia	254
14.6.1 Inovasi Kimia Organik.....	255
14.6.2 Inovasi Kimia Anorganik.....	259
14.6.3 Inovasi Kimia Analitik.....	263
14.6.4 Inovasi Kimia Fisik.....	268
14.6.5 Inovasi Biokimia	274
14.6.6 Inovasi Kimia Komputasi Berbasis <i>Artificial Intelligent</i> (AI)	283
14.7 Kesimpulan	289
DAFTAR PUSTAKA.....	290
BAB 15 TANTANGAN KIMIA DIMASA DEPAN: DAMPAK MULTIDIMENSI EVOLUSI INDUSTRI KIMIA HIJAU.....	297
15.1 Pendahuluan	297
15.2 Sejarah	298

15.3 Kimia Hijau	299
15.4 Analisis Kimia Hijau	306
15.5 Dampak Kimia Hijau Dalam Berbagai Aspek.....	307
DAFTAR PUSTAKA.....	310
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Gambaran Konsep Kimia Dasar	2
Gambar 1.2. Hukum Kekekalan Massa	4
Gambar 1.3. Hukum Perbandingan Tetap	5
Gambar 1.4. Hukum Perbandingan Volume	8
Gambar 2.1. Eksperimen Thomson dengan sinar katoda menemukan bahwa sinar bergerak menjauh dari pelat bermuatan negatif dan menuju pelat bermuatan positif	19
Gambar 2.2. Rutherford menyaranakan bahwa elektron mengelilingi inti pusat.....	21
Gambar 2.3. Struktur Atom	26
Gambar 3.1. Tabel Periodik Unsur Model Mendeleev.....	31
Gambar 3.2. Tabel Periodik Bentuk Panjang yang Menggambarkan Periode	32
Gambar 3.3. Tabel Periodik Bentuk Panjang yang Menggambarkan Golongan	34
Gambar 3.4. Tabel Periodik dengan Pengelompokan Berdasarkan Blok	36
Gambar 3.5. Jari-jari Atom Golongan IA Semakin Meningkat dan Dalam Satu Periode Semakin Menurun.....	38
Gambar 3.6. Energi Ionisasi pada Satu Golongan Semakin Menurun dan pada Satu Periode Semakin Meningkat	39
Gambar 3.7. Elektronegativitas untuk Periode 3 dan Golongan VIIA.....	41
Gambar 6.1. Jalur alternatif konversi karbon dan oksigen menjadi karbon dioksida	83
Gambar 7.1. Pengukuran kesetimbangan tekanan uap air pada temperature konstan	97

Gambar 7.2.	Pencapaian Keseimbangan Kimia.....	101
Gambar 7.3.	Gambaran Keseimbangan Reaksi	103
Gambar 8.1.	Jeruk mengandung asam sitrat (asam) dan sabun mengandung Kalium hidroksida/KOH (basa)	117
Gambar 8.2.	Warna pada pH indikator	118
Gambar 8.3.	Amonia	120
Gambar 8.4.	Ilmuwan teori asam basa Bronsted-Lowry	122
Gambar 9.1.	Perbedaan Perilaku Tembaga terhadap $\text{Ag}^+(\text{aq})$ dan $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$	140
Gambar 9.2.	Setengah Sel Elektrokimia.....	141
Gambar 9.3.	Pengukuran Gaya Elektromotif dari Sel Elektrokimia	143
Gambar 9.4.	Reaksi yang terjadi dalam sel Elektrokimia	144
Gambar 9.5.	Elektroda Hidrogen Standar	146
Gambar 9.6.	sel Leclanché (Sel Kering)	153
Gambar 9.7.	Sel Pb – Asam (sel penyimpan)	155
Gambar 9.8.	Sel Kancing Ag –Zn (miniatur)	156
Gambar 9.9.	Skema (yang menggambarkan sel bahan bakar hidrogen-oksigen)	158
Gambar 9.10.	Korosi dan Metoda Pencegahan Korosi.....	159
Gambar 9.11.	Perlindungan Besi Terhadap Korosi Elektrolitik.	161
Gambar 9.12.	Reaksi $\text{Cu}(\text{p}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) +$ $\text{Zn}(\text{p})$	163
Gambar 10.1.	Klasifikasi rantai karbon.....	167
Gambar 10.2.	Rumus lewis atom karbon	167
Gambar 10.3.	Ikatan kovalen atom karbon	168
Gambar 10.4.	Ikatan rantai panjang dan siklis atom karbon.....	169
Gambar 10.5.	Kedudukan atom-atom karbon	169

Gambar 10.6. Klasifikasi isomer.....	170
Gambar 10.7. Isomer geometris 2-butena.....	171
Gambar 10.8. Isomer optis aktif 2-butanol.....	172
Gambar 10.9. Klasifikasi hidrokarbon.....	172
Gambar 10.10. Rumus molekul dan penamaan alkana.....	173
Gambar 11.1. Ruang Lingkup Kimia Anorganik	183
Gambar 11.2. Nilai Keelektronegatifan unsur-unsur.....	190
Gambar 12.1. Uji nyala logam litium (Li), Natrium (Na), dan Kalium(K)	206
Gambar 12.2. Sistematika Pemisahan Golongan untuk Kation	210
Gambar 14.1. Hasil studi reaksi senyawa asam abietat (AA) dan produk hasil reaksi asam dehidroabietat (DHA) dengan katalis non-paladium yaitu FeCl_2 , ZnCl_2 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (s), dan reagen Iodine (I_2)(aq) dan NaOH (aq)	257
Gambar 14.2. Modifikasi kimia sebuah asam rosin dan aplikasinya	258
Gambar 14.3. Proses rekayasa senyawa nanomaterial dalam baterai ion litium.....	260
Gambar 14.3. Proses dan ilustrasi pembuatan material nanomaterial logam alloy h-FeCo/N-CF yang memungkinkan memiliki kinerja tinggi pada baterai Zn-Udara	262
Gambar 14.4. Proses mekanisme toksik dari cemaran logam berat dalam tubuh manusia dan hewan serta efek bahaya cemaran logam dalam tubuh manusia dan hewan.....	265
Gambar 14.5. Skema Biosensor secara umum	272

Gambar 14.6. uji enzim (a) Aktivitas protease, (b) Aktivitas Amilase, (c) Aktivitas Lipase.....	278
Gambar 14.7. Uji metabolit sekunder : (a) Flavonoid, (b) Kuinon, (c) Saponin, (d) Alkaloid, (e) Glikosida Jantung	279
Gambar 14.8. Uji aktivitas anti-mikroba terhadap (a) <i>Pseudomas spp</i> , (b) <i>E.Coli</i> , (c) <i>Bacillus spp</i>	280
Gambar 14.9. Perkembangan penelitian dan publikasi kimia yang menerapkan kecerdasan berbasis AI	284
Gambar 14.10. Proses penggunaan progam komputer berbasis kecerdasan buatan atau <i>Artificial Intelligence</i> (AI) dengan melakukan pengembangan sebuah antibodi monoklonal yang banyak berkembang saat ini.....	287
Gambar 14.11. Proses penggunaan progam komputer berbasis kecerdasan buatan atau <i>Artificial Intelligence</i> (AI) dengan melakukan proses penentuan enzim protease SARS-CoV-2 serta proses binding dengan berbagai senyawa obat.....	288
Gambar 15.1. Klasifikasi Pelarut	305
Gambar 15.2. Pemikiran yang sesuai dengan prinsip Ekologi.....	307

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hukum Perbandingan Berganda.....	7
Tabel 2.1. Sifat Partikel Subatomik	24
Tabel 3.1. Tabel Periodik Model Triad Dobereiner	29
Tabel 6.1. Entalpi Ikatan Rata Rata.....	87
Tabel 7.1. Beberapa karakteristik dari kesetimbangan fisik.....	99
Tabel 9.1. Beberapa Potensial Elektroda Standar	149
Tabel 11.1. Potensial reduksi standar pada 25°C.....	187
Tabel 12.1. Warna beberapa garam atau oksida logam pada kondisi panas dan dingin.....	205
Tabel 12.2. Warna uji nyala.....	207
Tabel 14.1. Data hasil analisis cemaran logam timbal (Pb) pada 5 macam permen jenis <i>hardcandy</i>	266
Tabel 15.1. Prinsip Kimia Hijau	301
Tabel 14.2. Tabel penelitian terkait nanosensor elektrokimia untuk analisis endogen antioksidan.....	273
Tabel 14.3. Tabel Perbandingan Produk <i>Eco-Enzyme</i> Ramah Lingkungan dengan Produk Industri	281

BAB 1

KONSEP DASAR KIMIA DASAR

Oleh Nur Yusaerah

1.1 Pendahuluan

Secara umum, konsep dasar Kimia dasar merupakan studi yang berkaitan dengan materi dan energi. Kimia dasar ini mencakup semua hal-hal yang berhubungan dengan materi yang terdapat di alam semesta. Secara lengkap, percakapan sains dasar ini akan berkonsentrasi pada karakterisasi yang berbeda dari komponen zat, campuran, dan bahan berdasarkan sintesisnya.

Itulah alasan ilmu kimia tidak akan lepas dari keberadaan manusia, karena untuk tujuan ini ilmu kimia memiliki urgensi untuk dipelajari. Dalam memusatkan perhatian pada ilmu kimia, langkah awal yang harus dipelajari adalah segmen kimia dasar

Dalam ilmu kimia, pada dasarnya semua prosedur yang dilakukan secara sistematis dan dapat ditiru dipelajari. Ini berarti bahwa metode hipotetis diuji secara ilmiah dan dapat diulangi oleh orang yang berbeda pada waktu yang berbeda.

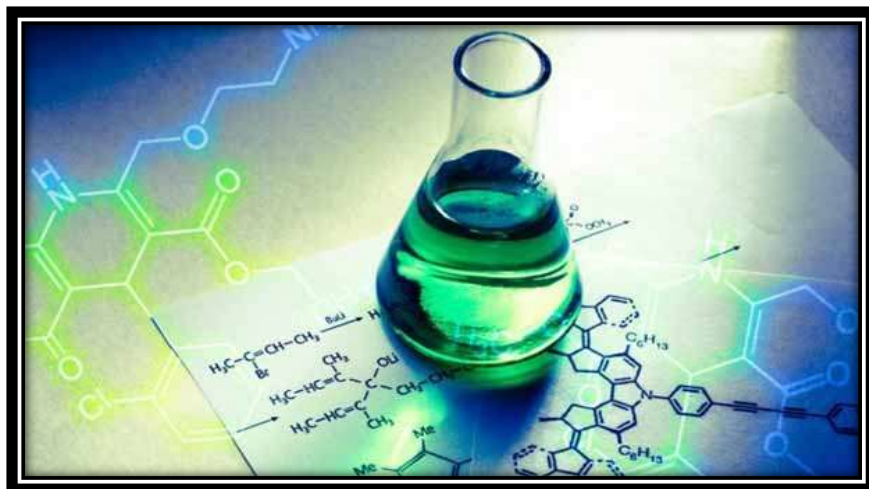
Dengan demikian, keberadaan ilmu kimia ini erat kaitannya dengan ilmu fisika dan ilmu biologi dengan alasan bahwa ketiga ilmu tersebut saling berkaitan.

1.2 Konsep Dasar Kimia Dasar

Ilmu kimia adalah ilmu yang mengulas dan mengeksplorasi yang berkaitan dengan penciptaan, sifat-sifat benda, struktur, hingga masalah pada skala nuklir dan sub-atom yang digabungkan

dengan perubahan atau perubahan dan bagaimana mereka bekerja sama, dalam pengembangan materi yang dipandang biasa.

Kimia dasar merupakan suatu segmen integral dari ilmu kimia yang pada umumnya berfokus pada hal-hal pokok dan norma-norma dalam ilmu pengetahuan, serta mencari tahu masalah, berfokus pada karakteristiknya, bagaimana dan alasan suatu zat-zat tertentu dapat bersatu atau terurai untuk membentuk berbagai zat dan bagaimana zat-zat tersebut berbicara satu sama lain. (Haifa Hafifah & Hardeli Hardeli, 2022)



Gambar 1.1. Gambaran Konsep Kimia Dasar
(Eliyarti et al., 2020)

Namun, sebelum seorang pakar kimia dapat bekerja di laboratorium dengan berbagai perangkat laboratorium gabungan untuk memimpin pendahuluan atau penilaian, olehnya itu kimia dasar adalah hal penting yang harus dikuasai.

1.3 Pengertian Kimia Dasar Menurut Ahli

Adapun definisi kimia dasar menurut para ahli, antara lain; (Syarif & Febrika Sya'baniah, 2023)

1. Raymond Chang, Kimia dasar adalah cabang kimia yang mencakup konsep-konsep fundamental, prinsip-prinsip dasar, dan teori-teori yang menjadi dasar bagi semua cabang ilmu kimia lainnya.
2. Zumdahl dan Zumdahl, Arti kimia dasar adalah studi tentang sifat-sifat materi, perubahan yang dialami oleh materi, dan energi yang terlibat dalam perubahan tersebut.
3. IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), Kimia dasar adalah cabang ilmu kimia yang mempelajari dasar-dasar konsep kimia seperti atom, molekul, struktur zat, reaksi kimia, dan sifat-sifat materi.
4. Brady, kimia diartikan sebagai studi tentang mengenai suatu bahan kimia. Selain itu, bahan kimia ini bukanlah zat teoretis yang ditakuti oleh orang-orang biasa. Bahan kimia ini terkait dengan hal-hal untuk keadaan kita saat ini.
5. Irfan Anshory, ilmu kimia adalah bagian dari ilmu sains yang melihat dan memusatkan perhatian pada sifat-sifat materi, perkembangan yang dimulai dari satu materi ke materi berikutnya, konstruksi materi, dan energi yang menyertai perubahan tersebut.
6. Irwan Nugraha mendefinisikan kimia sebagai ilmu sains yang melihat dan memusatkan perhatian pada persoalan yang meliputi konstruksi, sifat, sintesis, dan perubahan yang terjadi pada materi tersebut, serta energi yang ada atau menyertainya.
7. Thought mengemukakan bahwa ilmu kimia juga dapat diartikan sebagai ilmu murni yang melihat dan berkonsentrasi pada materi mulai dari alam semesta, serta kolaborasi dan perubahan energi yang terjadi karena perubahan alam.

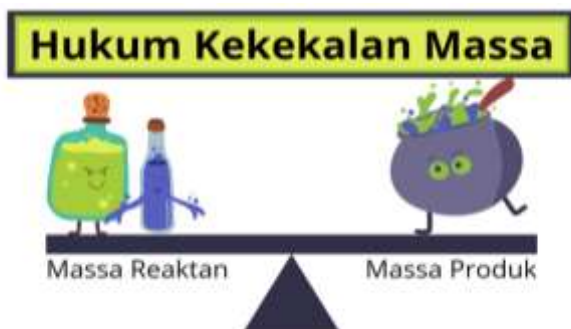
1.4 Jenis Hukum Dasar Kimia

Adapun untuk beberapa bunyi hukum dasar kimia, antara lain:

1. Hukum Kekekalan Massa

"Tidak ada yang datang dari ketiadaan" sepertinya adalah pemikiran dalam budaya Yunani kuno yang mengemukakan pendapatnya bahwa semua hal yang ada sekarang akan terus ada, karena tidak terdapat materi baru yang secara tiba-tiba muncul jika sebelumnya tidak ada. Antoine Lavoiser, seorang peneliti, mengulangi pedoman majemuk ini dengan hukum perlindungan massa. "Atom tidak dapat dibuat atau dilenyapkan, namun dapat dipindahkan dan diubah menjadi berbagai partikel." (Jayanti, 2021)

Hukum kekekalan massa ini juga menyatakan bahwa ketika respons sintetik terjadi untuk mengubah atom menjadi produk baru, massa reaktan (bahan awal) akan setara dengan massa produk (hasil reaksi). Hukum kekekalan massa menyatakan bahwa semua massa yang hadir sebelum respons terjadi naik menjadi massa habis setelah respons. Hukum kekekalan massa ditemukan oleh Lavoiser dari hasil penyelidikannya. Respons dalam hal ini suatu reaksi kimia. (Angelia, 2021)



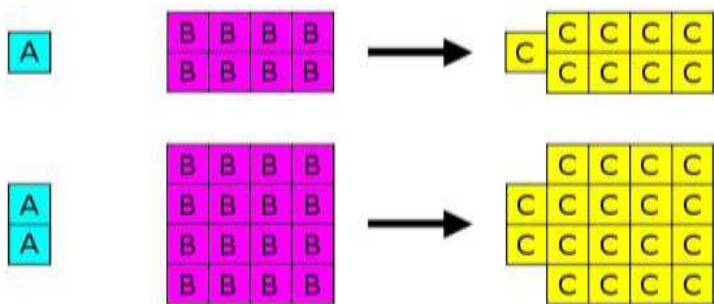
Gambar 1.2. Hukum Kekekalan Massa. (Jayanti, 2021)

Hukum Kekekalan Massa diilustrasikan oleh Lavoisier yang membakar ikatan logam merkuri dengan muatan tertentu di tempat yang tidak terbuka dan mengukur massanya. Merkuri berubah menjadi oksida merkuri dengan berat lebih tinggi dari merkuri sebelum dibakar, mengurangi volume udara di bejana tertutup.

Hasilnya adalah bahwa perluasan massa merkuri setara dengan volume massa udara atau oksigen yang hilang sehingga konsekuensi keseluruhan dari pengukuran ketika responsnya juga sangat mirip. (Basuki, 2020)

2. Hukum Perbandingan Tetap

Hukum perbandingan tetap, juga dikenal sebagai hukum Proust, diciptakan oleh Joseph Proust. Itulah yang dinyatakan oleh peraturan ini jika suatu senyawa dapat dipisahkan menjadi komponen-komponen penyusunnya, sebagian besar konstituen akan terus berada dalam kadar yang sama terlepas dari jumlah atau sumber zat pertama. (Lass *et al.*, 2016)



Gambar 1.3. Hukum Perbandingan Tetap
(Syarif & Febrika Sya'baniah, 2023)

Contoh reaksi gambar di atas memudahkan untuk dilihat. Jika 1 gram A dapat bereaksi dengan 8 gram B, menurut aturan Proust, 2 gram A harus bereaksi dengan 16 gram B. Jika 1 gram A bereaksi dengan 8 gram B, 9 gram C akan menjadi disampaikan dan jika 2 gram A dibalas dengan 16 gram B, akan diberikan 18 gram C. (Syarif & Febrika Sya'baniah, 2023)

Hukum Perbandingan Tetap menyatakan bahwa dalam jenis zat majemuk tertentu, komponen-komponennya secara konstan bergabung dalam luasan yang sama. Peraturan ini berlaku ketika zat bereaksi satu sama lain untuk membentuk barang yang serupa. (Khaidir, 2020)

3. Hukum Perbandingan Berganda

Selain dua bahan yang bereaksi hingga terbentuk satu benda, banyak campuran bahan juga dapat bereaksi membentuk lebih dari satu benda.

Untuk kasus ini, Hukum Perbandingan Berganda (Peraturan Dalton) menyatakan bahwa berat satu komponen yang digabungkan dengan komponen yang berbeda adalah bilangan bulat yang berbeda satu sama lain. (Agustini *et al.*, 2020) Hal ini dapat direpresentasikan dalam respon nitrogen yang membentuk sifat-sifat nitrogen oksida dalam beberapa struktur yang dapat dilihat pada **Tabel 2.1.**

Tabel 2.1. Hukum Perbandingan Berganda

Massa Nitrogen	Massa Oksigen	Massa Produk	Jenis Produk
1 g	1 g	2 g	NO
1 g	2 g	3 g	NO ₂

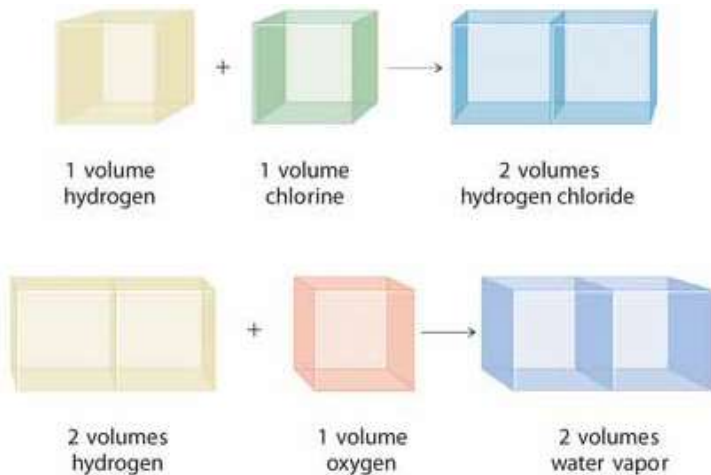
(Nike Helmiati *et al.*, 2022)

Hukum Perbandingan Berganda diterapkan pada nitrogen oksida (NO_x). Dengan memanfaatkan berat oksigen yang serupa untuk membentuk nitrogen oksida dengan nitrogen dengan massa alternatif, berbagai campuran dengan massa yang dibandingkan dengan produk jumlahnya dikirimkan. Hukum Perbandingan Berganda berbunyi "Jika dua komponen dapat membentuk lebih dari satu senyawa, maka, pada saat itu, massa satu komponen digabungkan dengan massa yang tepat dari komponen berikutnya dengan membentuk proporsi bilangan untuk menentukan massa benda". (Agustini *et al.*, 2020)

4. Hukum Perbandingan Volume

Gay-Lussac datang dengan hukum perbandingan volume, yang menyatakan bahwa ketika gas bereaksi bersama, perlakuannya dengan volume yang menimbulkan perbandingan bilangan bulat sederhana ketika suhu dan tekanannya sama. (Noorarnie *et al.*, 2019)

Mengenai hukum ini, sangat mungkin ditemukan dalam contoh-contoh kasus tanggapan yang menyertainya;



Gambar 1.4. Hukum Perbandingan Volume
(Basuki, 2020)

Ketika 1 satuan volume gas hidrogen bereaksi dengan 1 satuan volume gas klor, ia membentuk 2 volume gas hidrogen klorida dengan perbandingan volume 1:1:2. Sedangkan pada reaksi 2 volume hidrogen dengan 1 volume oksigen menghasilkan 2 volume gas H₂O dengan perbandingan 2:1:2. Proporsi ini dipengaruhi oleh persamaan senyawa atau barang yang dikirim. (Basuki, 2020)

Hukum Gay-Lussac menyatakan bahwa "Di bawah keadaan tegangan dan suhu yang sama, volume gas yang merespons dan volume gas benda dari respons adalah proporsi bilangan bulat langsung". (Noorarnie *et al.*, 2019)

1.5 Macam-macam Cabang Ilmu Kimia

Ada beberapa bagian ilmu setelah ilmu esensial yang bisa dipelajari sebagai berikut: (Harwanto *et al.*, 2020)

1. Kimia Organik

IPA adalah bagian dari ilmu yang mengkaji intensif yang mengandung komponen karbon dan hidrogen atau terdapat pada makhluk hidup. Pakar ilmu pengetahuan alam dapat mengetahui konstruksi, sifat dan macam reaksi dalam campuran tersebut serta dapat mengenali dan mencirikannya.

Sehubungan dengan contoh-contoh ilmu alam, itu diterapkan secara luas dalam usaha obat-obatan, elastis, bahan bakar, plastik, korektif, zat warna, pembersih, agribisnis, dan lain-lain.

Reaksi dan semua sifat senyawa kimia yang tidak memiliki ikatan kimia karbon dan hidrogen disebut sebagai kimia anorganik. Dengan kata lain, kimia anorganik mengamati senyawa yang tidak berasal dari makhluk hidup. Misalnya, ilmu alam juga diterapkan secara luas dalam bisnis dorongan, bahan, warna, penutup, dan klinis.

2. Kimia Anorganik

Bagian dari kimia anorganik berkonsentrasi pada sifat sebenarnya dari campuran sintetik yang menggunakan aturan dan ide aktual seperti gerakan, energi, gaya, waktu, termodinamika, mekanika kuantum, dan elemen. Dengan persamaan sains yang sebenarnya, para ilmuwan dapat mengukur sifat sebenarnya dari zat sintetik dan menentukan dampak dari kekhasan tertentu pada zat majemuk.

3. Kimia Fisik

Bagian ilmu ini mengatur cara paling umum untuk mengisolasi, membedakan, dan mengevaluasi zat majemuk secara logis dengan contoh spesifik. Kimia fisik juga merupakan bagian dari ilmu kimia yang mengkaji dan melihat sifat, konstruksi, dan perubahan senyawa zat tertentu, serta bagaimana perubahan energi yang terjadi mengikuti perubahan sintetik tersebut.

4. Kimia Analitik

Ahli kimia dapat mengidentifikasi kandungan kimia dari bahan tertentu berkat bidang studi ini. Aplikasi kimia analitik sangat banyak. Contoh ilmu berwawasan ini adalah investigasi TKP alami, pemeriksaan klinis, pemeriksaan bahan, dan bioanalisis. (Tianingsih, 2019).

Selain itu, kimia analitik ini merupakan ilmu yang berkonsentrasi pada cara terbaik untuk mengembangkan sistem dan strategi yang sepenuhnya bertujuan untuk mendapatkan data tentang kondisi bersama dan penciptaan materi dalam realitas tertentu. Oleh karena itu, kimia analitik memainkan peran penting untuk penentuan infeksi, kesejahteraan obat, kriminologi, dan konfirmasi kualitas makanan yang baik.

5. Biokimia

Biokimia adalah bagian dari ilmu kimia yang berkonsentrasi pada konstruksi, respons bagian dan substansi dari kerangka hidup. Kimia organik menyatukan sains dengan sains untuk contoh perubahan penting yang terjadi dalam kerangka hidup. Mengenai contoh penggunaan kimia organik sangat luas, seperti dalam pengobatan, ilmu pangan, dan pertanian. Biokimia juga merupakan bagian dari ilmu sains yang menggabungkan

kimia dan biologi, dalam berkonsentrasi pada proses substansi pada tingkat sub-atomik dan berhubungan dengan makhluk hidup. Salah satunya melihat apa yang terjadi di dalam sel makhluk hidup, dan bagaimana kelompok makhluk hidup merespons dengan menyelidiki bahan kimia, protein, bahan kimia, lemak, makromolekul, dan materi keturunan.

1.6 Manfaat Mempelajari Ilmu Kimia

Seperti dengan ilmu sains lainnya, belajar kimia tentunya juga memiliki beberapa manfaat, antara lain:

1. Memiliki pemahaman yang unggul tentang elemen lingkungan normal, dan bagaimana berbagai siklus dan respons terjadi di dalamnya.
2. Mampu memanfaatkan alam secara maksimal, lebih tepatnya mengubah bahan yang diberikan pada dasarnya menjadi suatu barang yang lebih bermanfaat dan bernilai untuk mengatasi masalah.
3. Memiliki pandangan yang menggembirakan saat menangani masalah iklim karena penggunaan bahan atau sintetis.
4. Memahami tanpa henti efek yang akan muncul karena penggunaan barang sintetis terhadap iklim.
5. Memperluas perhatian manusia agar dapat menghargai makna Tuhan Yang Maha Kuasa bagi ciptaan-Nya.

Dilihat dari kelebihan-kelebihan yang disebutkan di atas, ilmu pengetahuan ternyata sangat vital dalam keberadaan manusia. Konsekuensinya, ilmu ciptaan bersifat membumi, sehingga cenderung diterapkan secara lugas. Misalnya, khususnya di toko obat, hortikultura, topografi, dan ilmu kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, A., Rery, R. U., & Anwar, L. 2020. Creative Problem Solving (Cps)-Based Assessment Instrument for Critical Thinking Ability on Stoichiometry Materials. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 12(2), 230–245. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v12i2.227>
- Angelia, M. 2021. (5,44) lebih besar dari t. 12(1), 65–74.
- Basuki, K. H. 2020. Analisis Kesalahan Mahasiswa Dalam Menyelesaikan Soal Stoikiometri. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 6(4), 41–57. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4298027>
- Eliyarti, E., Rahayu, C., & Zakirman, Z. 2020. Tinjauan Kontribusi Google Classroom Dalam Mendukung Perkuliahan Kimia Dasar. *Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia*, 4(1), 32–39. <https://doi.org/10.23887/jpk.v4i1.24299>
- Haifa Hafifah, & Hardeli Hardeli. 2022. Praktikalitas E-Modul Berbasis Discovery Learning dengan Teknik Probing Prompting pada Materi Hukum Dasar Kimia untuk Kelas X SMA/MA. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 12(3), 419–424. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i3.644>
- Harwanto, D., Sompie, S. R. U. A., Tulenan, V., Elektro, T., Sam, U., Manado, R., Kampus, J., & Manado, B.-U. 2020. Pengenalan Unsur Dan Senyawa Kimia. *Pengenalan Unsur Dan Senyawa Kimia*, 14(1), 63–70.
- Jayanti, E. 2021. Implementasi Rancangan Pembelajaran Berbasis Sharing dan Jumping Task pada Konsep Hukum Kekekalan Massa. *Orbital: Jurnal Pendidikan Kimia*, 5(2), 163–177. <https://doi.org/10.19109/ojpk.v5i2.10522>

- Khaidir, K. 2020. Penggunaan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Web Exe Dalam Meningkatkan Hasil Belajar Kognitif. *Journal: Sudut Pandang*, 1(1), 24–30. <http://thejournalish.com/ojs/index.php/sudutpandang/article/view/54>
- Lass, S. T. C., Angkalan, X. C. S. M. A. N. P., & Cademic, B. A. A. 2016. *CONCEPT UNDERSTANDING OF THE PROUST LAW AFTER LEARNING WITH RECITATION METHOD USING LKS ON THE PEMAHAMAN KONSEP HUKUM PERBANDINGAN TETAP (HUKUM PROUST) PASCA PENERAPAN PEMBELAJARAN DENGAN METODE RESITASI BERBANTUAN LKS PAD. 1–11.*
- Nike Helmiati, Abudarin, A., & Abdul Hadjranul Fatah. 2022. Penguasaan konsep hukum-hukum dasar kimia hasil pembelajaran menggunakan Lembar Kerja Siswa berbasis Learning Cycle 5E pada siswa kelas X SMA Negeri 4 Palangka Raya Tahun Ajaran 2017/2018. *Journal of Environment and Management*, 2(3), 212–217. <https://doi.org/10.37304/jem.v2i3.4381>
- Noorarnie, A. M., Supardi, K. I., & Sumarni, W. 2019. Analisis Kesalahan Siswa Dalam Mengerjakan Soal Stoikiometri Melalui Langkah Polya. *Analisis Kesalahan Siswa Dalam Mengerjakan Soal Stoikiometri Melalui Langkah Polya*, 13(2), 2414–2424.
- Syarif, N., & Febrika Sya'baniah, N. 2023. Pelatihan Penggunaan Potentiostat sebagai Transfer Pengetahuan Ilmu Kimia untuk Guru – Guru SM. *ABDINE: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 78–87. <https://doi.org/10.52072/abdine.v3i1.565>
- Tianingsih, N. E. 2019. Analisis kontekstual pelajaran kimia pada peserta didik. *Seminar Nasional Edusainstek FMIPA UNIMUS 2019*, 342–347.

BAB 2

STRUKTUR ATOM

Oleh Nur Qadri Rasyid

2.1 Pendahuluan

Teori atom memiliki sejarah panjang. Orang Yunani kuno mendalilkan bahwa materi ada dalam bentuk atom, tetapi tidak mendasarkan teorinya pada eksperimen, juga tidak menggunakannya untuk mengembangkan gagasan tambahan tentang atom. Pembahasan paling awal yang tercatat tentang struktur dasar materi berasal dari para filsuf Yunani kuno. Pada abad kelima SM, Leucippus dan Democritus berpendapat bahwa semua materi terdiri dari partikel-partikel kecil hingga yang mereka sebut atomos, sebuah istilah yang berasal dari kata Yunani untuk "tak terpisahkan". Mereka menganggap atom sebagai partikel bergerak yang berbeda bentuk dan ukurannya, dan yang dapat bergabung bersama. Belakangan, Aristoteles dan yang lainnya sampai pada kesimpulan bahwa materi terdiri dari berbagai kombinasi dari empat "elemen"—api, tanah, udara, dan air—dan dapat dibagi tanpa batas. Menariknya, para filsuf ini menganggap atom dan "elemen" sebagai konsep filosofis, tetapi tampaknya tidak pernah mempertimbangkan untuk melakukan eksperimen untuk menguji gagasan mereka.

2.1.1 Gagasan Awal Atom Demokritus

Sekitar 2.500 tahun yang lalu, para filsuf Yunani awal percaya bahwa seluruh alam semesta adalah satu kesatuan yang sangat besar. Dengan kata lain, "semuanya adalah satu." Filsuf Yunani percaya bahwa semua objek, semua materi, dan semua substansi terhubung sebagai satu "benda" yang besar dan tidak dapat diubah.

Salah satu orang pertama yang mengusulkan "atom" adalah seorang pria yang dikenal sebagai Democritus. Sebagai alternatif dari kepercayaan para filsuf Yunani, dia mengusulkan bahwa atomos, atau atomon – benda kecil, tak terpisahkan, padat – membentuk semua materi di alam semesta. Democritus kemudian beralasan bahwa perubahan terjadi ketika banyak atomos dalam suatu objek dihubungkan kembali atau digabungkan kembali dengan cara yang berbeda. Democritus bahkan memperluas teorinya, menyatakan bahwa ada jenis atomos yang berbeda dengan bentuk, ukuran, dan massa yang berbeda. Namun, Democritus berpikir bahwa bentuk, ukuran, dan massa adalah satu-satunya sifat yang membedakan berbagai jenis atom. Menurut Democritus, ciri-ciri lain, seperti warna dan rasa, tidak mencerminkan sifat atomos itu sendiri, melainkan dihasilkan dari cara berbeda di mana atomos digabungkan dan dihubungkan satu sama lain.

2.1.2 Gagasan Awal Atom Dalton

Pada akhir tahun 1700-an, Antoine Lavoisier, seorang ilmuwan Prancis, bereksperimen dengan reaksi banyak logam. Dia dengan hati-hati mengukur massa suatu zat sebelum bereaksi dan sekali lagi mengukur massa setelah reaksi terjadi dalam sistem tertutup (artinya tidak ada yang bisa masuk atau keluar dari wadah). Dia menemukan bahwa apapun reaksi yang dia lihat, massa bahan awal selalu sama dengan massa bahan akhir yang sekarang disebut hukum kekekalan massa. Ini bertentangan dengan apa yang dipikirkan banyak ilmuwan pada saat itu. Misalnya, ketika sepotong besi berkarat, ia tampak bertambah berat. Saat batang kayu dibakar, tampak kehilangan massa. Namun, dalam contoh ini, reaksi tidak berlangsung dalam wadah tertutup dan zat, seperti gas di udara, dapat masuk atau keluar. Saat besi berkarat, ia bergabung dengan oksigen di udara, itulah sebabnya ia tampak bertambah banyak. Apa yang Lavoisier temukan adalah bahwa tidak ada massa

yang benar-benar diperoleh atau hilang. Itu datang dari udara. Ini adalah langkah pertama yang sangat penting dalam membuktikan gagasan bahwa segala sesuatu terbuat dari atom. Atom (dan massa) tidak diciptakan atau dihancurkan. Atom hanya bereaksi dengan atom lain yang sudah ada.

Pada saat yang sama para ilmuwan menemukan pola ini, seorang pria bernama John Dalton bereksperimen dengan beberapa reaksi di mana unsur-unsur reaktan membentuk lebih dari satu jenis produk, tergantung pada kondisi percobaan yang dia gunakan. Salah satu reaksi umum yang dia pelajari adalah reaksi antara karbon dan oksigen. Ketika karbon dan oksigen bereaksi, mereka menghasilkan dua zat yang berbeda – kita akan menyebut zat ini “A” dan “B.” Ternyata, dengan jumlah karbon yang sama, pembentukan B selalu membutuhkan oksigen dua kali lebih banyak daripada pembentukan A. Dengan kata lain, jika Anda dapat membuat A dengan 3 gram karbon dan 4 gram oksigen, B dapat dibuat dengan sama 3 gram karbon, tetapi dengan 8 gram oksigen. Dalton bertanya pada dirinya sendiri – mengapa B membutuhkan oksigen 2 kali lebih banyak dari A? Mengapa tidak 1,21 kali lebih banyak oksigen, atau 0,95 kali lebih banyak oksigen? Mengapa bilangan bulat seperti 2? Situasi menjadi semakin aneh ketika Dalton mencoba eksperimen serupa dengan zat yang berbeda. Misalnya, ketika dia mereaksikan nitrogen dan oksigen, Dalton menemukan bahwa dia dapat membuat tiga zat berbeda – kita akan menyebutnya “C”, “D”, dan “E”. Ternyata, untuk jumlah nitrogen yang sama, D selalu membutuhkan oksigen dua kali lebih banyak daripada C. Demikian pula, E selalu membutuhkan oksigen tepat empat kali lebih banyak daripada C. Sekali lagi, Dalton memperhatikan bahwa bilangan bulat kecil (2 dan 4) tampaknya menjadi aturan. Pengamatan ini kemudian dikenal sebagai hukum perbandingan berganda. Dalton memikirkan hasilnya dan mencoba menemukan beberapa teori yang akan menjelaskannya, serta teori yang akan menjelaskan Hukum Kekekalan Massa (massa tidak

diciptakan atau dihancurkan, atau massa yang Anda miliki pada awalnya sama dengan massa pada akhir perubahan). Salah satu cara untuk menjelaskan hubungan yang diamati oleh Dalton dan yang lainnya adalah dengan menyarankan bahwa bahan seperti nitrogen, karbon, dan oksigen terdiri dari jumlah kecil yang tidak dapat dibagi yang disebut Dalton sebagai "atom" (mengacu pada ide asli Democritus). Dalton menggunakan ide ini untuk menghasilkan apa yang sekarang dikenal sebagai Teori Atom Dalton yang menyatakan sebagai berikut:

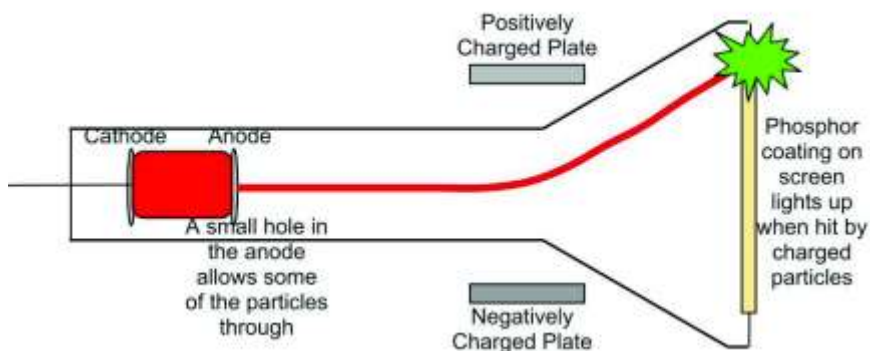
1. Materi tersusun dari partikel-partikel kecil yang disebut atom.
2. Atom tidak dapat dibagi (tidak dapat dipecah menjadi partikel yang lebih kecil). Selama reaksi kimia, atom disusun ulang, tetapi tidak pecah, juga tidak diciptakan atau dihancurkan.
3. Semua atom dari suatu unsur memiliki massa dan sifat-sifat lainnya yang identik.
4. Atom-atom dari berbagai unsur berbeda dalam hal massa dan sifat lainnya.
5. Atom dari satu unsur dapat bergabung dengan atom unsur lain untuk membentuk "senyawa" – partikel baru yang kompleks. Namun, dalam senyawa tertentu, berbagai jenis atom selalu ada dalam jumlah relatif yang sama.

2.1.3 Teori Atom Lanjutan Thomson

Pada pertengahan 1800-an, para ilmuwan mulai menyadari bahwa studi kimia dan studi listrik sebenarnya berhubungan. Pertama, seorang pria bernama Michael Faraday menunjukkan bagaimana mengalirkan listrik melalui campuran bahan kimia yang berbeda dapat menyebabkan reaksi kimia. Tak lama setelah itu, para ilmuwan menemukan bahwa dengan mengalirkan listrik melalui tabung berisi gas, listrik membuat gas tersebut berpijar. Namun, para ilmuwan tidak memahami hubungan antara bahan

kimia dan listrik sampai seorang fisikawan Inggris bernama J. J. Thomson mulai bereksperimen dengan apa yang dikenal sebagai tabung sinar katoda.

Peralatan ini terdiri dari tabung kaca tertutup yang hampir semua udaranya telah dikeluarkan; tabung berisi dua elektroda logam. Ketika tegangan tinggi diterapkan melintasi elektroda, sinar tampak yang disebut sinar katoda muncul di antara keduanya. Sinar ini dibelokkan ke arah muatan positif dan menjauhi muatan negatif, dan diproduksi dengan cara yang sama dengan sifat yang identik ketika logam yang berbeda digunakan untuk elektroda. Dalam eksperimen serupa, sinar itu secara bersamaan dibelokkan oleh medan magnet yang diterapkan, dan pengukuran tingkat defleksi dan kekuatan medan magnet memungkinkan Thomson menghitung rasio muatan terhadap massa partikel sinar katoda. Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa partikel-partikel ini jauh lebih ringan daripada atom.



Gambar 2.1. Eksperimen Thomson dengan sinar katoda menemukan bahwa sinar bergerak menjauh dari pelat bermuatan negatif dan menuju pelat bermuatan positif

Sumber : (Tracy Poulsen, 2010).

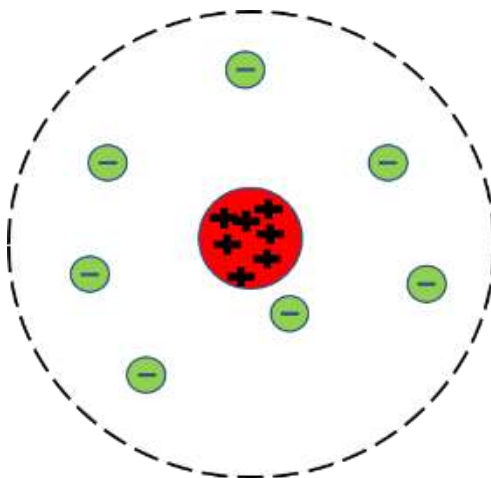
Berdasarkan pengamatannya, inilah yang diajukan Thomson dan alasannya: Partikel-partikel ditarik oleh muatan positif (+) dan ditolak oleh muatan negatif (-), jadi mereka harus bermuatan negatif (muatan sejenis tolak menolak dan muatan sejenis tarik menarik); mereka kurang masif daripada atom dan tidak dapat dibedakan, terlepas dari bahan sumbernya, jadi mereka harus menjadi konstituen subatomik mendasar dari semua atom. Meskipun kontroversial pada saat itu, ide Thomson secara bertahap diterima, dan partikel sinar katodanya adalah apa yang sekarang kita sebut elektron, partikel subatom bermuatan negatif dengan massa lebih dari seribu kali lebih kecil dari massa atom. Istilah "elektron" diciptakan pada tahun 1891 oleh fisikawan Irlandia George Stoney, dari "ion listrik."

J.J. Thomson telah mengukur rasio muatan terhadap massa elektron, tetapi tidak dapat secara akurat mengukur muatan elektron. Dengan eksperimen tetes minyaknya, Robert Millikan mampu mengukur muatan elektron secara akurat. Ketika digabungkan dengan rasio muatan terhadap massa, dia mampu menghitung massa elektron. Apa yang dilakukan Millikan adalah memberi muatan pada tetesan kecil minyak dan mengukur tingkat penurunannya. Dengan memvariasikan muatan pada tetesan yang berbeda, dia memperhatikan bahwa muatan listrik pada tetesan semuanya adalah kelipatan $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$, muatan pada satu elektron.

2.1.4 Model Nuklir Rutherford

Rutherford dan eksperimennya akan menjadi topik di bagian selanjutnya. Penyangkalan model "puding prem" Thomson dimulai dengan penemuan bahwa sebuah unsur yang dikenal sebagai uranium memancarkan partikel bermuatan positif yang disebut partikel alfa saat mengalami peluruhan radioaktif. Peluruhan radioaktif terjadi ketika satu unsur terurai menjadi unsur lain. Itu hanya terjadi dengan beberapa elemen yang sangat tidak stabil. Partikel alfa sendiri tidak membuktikan apapun tentang

struktur atom, namun mereka digunakan untuk melakukan beberapa percobaan yang sangat menarik. Ernest Rutherford terpesona oleh semua aspek partikel alfa. Namun, sebagian besar, dia tampaknya memandang partikel alfa sebagai peluru kecil yang dapat dia gunakan untuk menembak semua jenis bahan yang berbeda. Namun, satu eksperimen khususnya, mengejutkan Rutherford (Flowers *et al.*, 2015)



Gambar 2.2. Rutherford menyarankan bahwa elektron mengelilingi inti pusat

Rutherford memutuskan bahwa satu-satunya cara untuk menjelaskan hasilnya adalah dengan mengasumsikan bahwa materi positif yang membentuk atom emas sebenarnya tidak terdistribusi seperti adonan dalam puding prem, melainkan terkonsentrasi di satu tempat, membentuk partikel kecil bermuatan positif. di suatu tempat di pusat atom emas. Kami sekarang menyebut gumpalan massa bermuatan positif ini sebagai nukleus. Menurut Rutherford, keberadaan nukleus menjelaskan eksperimennya, karena ini menyiratkan bahwa sebagian besar partikel alfa melewati kertas emas tanpa mengenai apa pun. Namun, sesekali, partikel alfa akan

benar-benar bertabrakan dengan inti emas, menyebabkan partikel alfa dibelokkan, atau bahkan memantul kembali ke arah asalnya (Tracy Poulsen, 2010)

2.2 Struktur Atom

Perkembangan teori atom modern mengungkap banyak hal tentang struktur bagian dalam atom. Diketahui bahwa sebuah atom mengandung inti yang sangat kecil yang terdiri dari proton bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan, dikelilingi oleh volume ruang yang jauh lebih besar yang mengandung elektron bermuatan negatif. Inti mengandung sebagian besar massa atom karena proton dan neutron jauh lebih berat daripada elektron, sedangkan elektron menempati hampir semua volume atom. Diameter atom sekitar 10^{-10} m, sedangkan diameter inti kira-kira 10^{-15} m—sekitar 100.000 kali lebih kecil. Untuk perspektif tentang ukuran relatif mereka, pertimbangkan ini: Jika nukleus seukuran blueberry, atom akan seukuran stadion sepak bola

2.2.1 Elektron

Seorang fisikawan Inggris, J. J. Thomson, menggunakan tabung sinar katoda dan pengetahuannya tentang teori elektromagnetik untuk menentukan perbandingan muatan listrik dengan massa elektron individu. Angka yang dia temukan adalah $-1,76 \times 10^8$ C/g, di mana C adalah singkatan dari coulomb, yang merupakan satuan muatan listrik. Setelah itu, dalam serangkaian percobaan yang dilakukan antara tahun 1908 dan 1917, R. A. Millikan, seorang fisikawan Amerika, menemukan bahwa muatan elektron adalah $-1,6022 \times 10^{-19}$ C. Dari data diperoleh dari perhitungan massa electron :

$$\begin{aligned} \text{Massa elektron} &= \frac{\text{muatan elektron}}{\text{muatan per massa}} \\ &= \frac{-1,6022 \times 10^{-19} \text{C}}{-1,76 \times 10^8 \text{ C/g}} \\ &= 9.10 \times 10^{-28} \text{ g} \end{aligned}$$

Massa atom 9.10×10^{-28} g yang merupakan massa yang sangat kecil (Cruickshank et al., 2008)

2.2.2 Proton dan Inti Atom

Inti atom adalah daerah bermuatan positif di pusat atom. Ini terdiri dari dua jenis partikel subatomik yang dikemas rapat. Partikel-partikel tersebut adalah proton, yang bermuatan listrik positif, dan neutron, yang bermuatan listrik netral. Di luar nukleus, sebuah atom sebagian besar adalah ruang kosong, dengan partikel negatif yang mengorbit yang disebut elektron yang melewatinya.

Inti atom sangat kecil. Jari-jarinya hanya sekitar $1/100.000$ dari total jari-jari atom. Elektron hampir tidak memiliki massa, tetapi proton dan neutron memiliki banyak massa untuk ukurannya. Akibatnya, nukleus memiliki hampir semua massa atom. Mengingat massanya yang besar dan ukurannya yang kecil, nukleus sangat padat. Jika sebuah benda seukuran satu sen memiliki kerapatan yang sama dengan inti atom, massanya akan lebih besar dari 30 juta ton (Paul R. Young, 2023). Inti sangat kecil, dengan radius sekitar sepersepuluh ribu dari jari-jari atom itu sendiri. Inti tidak berubah selama reaksi kimia biasa. Jadi, atom adalah unit terkecil yang memiliki komposisi karakteristik suatu unsur, dan dalam pengertian itu, ia adalah partikel terkecil dari suatu unsur (Goldberg, 2007).

Muatan positif atom, menurut Rutherford, semuanya terkonsentrasi di nukleus, inti pusat yang padat di dalam atom. Setiap kali sebuah partikel alfa (α -partikel) mendekati inti dalam percobaan hamburan, ia mengalami gaya tolak yang besar dan oleh karena itu terjadi defleksi yang besar. Selain itu, sebuah α -partikel yang bergerak langsung menuju inti akan mengalami tolakan yang sangat besar yang dapat membalikkan arah partikel yang bergerak sepenuhnya. Partikel bermuatan positif dalam inti disebut proton (Flowers et al., 2015). Dalam percobaan terpisah, ditemukan bahwa muatan setiap proton memiliki besaran yang sama dengan

elektron dan massa proton adalah $1,67262 \times 10^{-24}$ g sekitar 1840 kali massa elektron yang bermuatan berlawanan (Cruickshank *et al.*, 2008).

2.2.3 Neutron

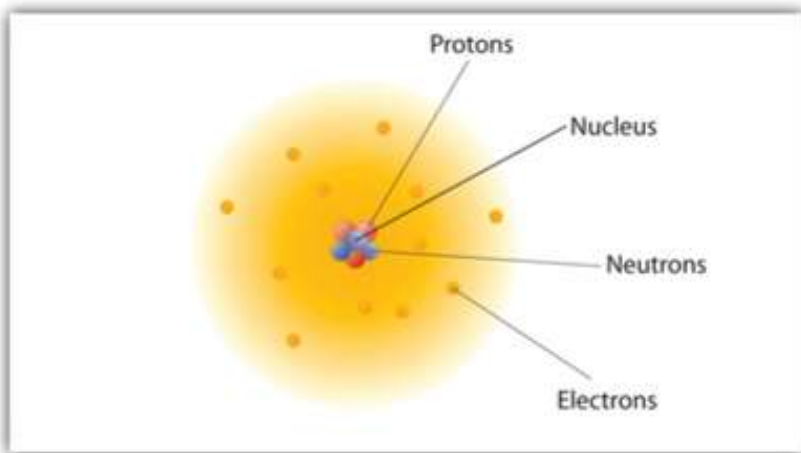
Model struktur atom Rutherford meninggalkan satu masalah besar yang belum terpecahkan. Diketahui bahwa hidrogen, atom paling sederhana, hanya mengandung satu proton dan atom helium mengandung dua proton. Oleh karena itu, perbandingan massa atom helium dengan massa atom hidrogen adalah 2:1. (Karena elektron jauh lebih ringan daripada proton, kontribusinya dapat diabaikan.) Namun kenyataannya, rasionya adalah 4:1. Rutherford dan yang lainnya mendalilkan bahwa pasti ada jenis partikel subatom lain di dalam inti atom; buktinya diberikan oleh fisikawan Inggris lainnya, James Chadwick, pada tahun 1932. Ketika Chadwick membombardir lembaran tipis berilium dengan partikel, radiasi energi yang sangat tinggi yang mirip dengan sinar dipancarkan oleh logam. Eksperimen selanjutnya menunjukkan bahwa sinar sebenarnya terdiri dari partikel netral secara elektrik yang memiliki massa sedikit lebih besar dari massa proton. Chadwick menamakan partikel ini neutron (Cruickshank *et al.*, 2008)

Tabel 2.1. Sifat Partikel Subatomik

Nama	Lokasi	Muatan (C)	Unit Muatan	Massa (amu)	Massa (g)
Elektron	luar inti	-1.602×10^{-19}	-1	0.00055	0.00091×10^{-24}
Proton	Inti	1.602×10^{-19}	+1	1.00727	1.67262×10^{-24}
Neutron	Inti	0	0	1.00866	1.67493×10^{-24}

(Flowers et al., 2015)

Jumlah proton dalam inti atom adalah nomor atomnya (Z). Ini adalah sifat yang menentukan dari suatu unsur: Nilainya menentukan identitas atom. Misalnya, setiap atom yang mengandung enam proton adalah unsur karbon dan memiliki nomor atom 6, terlepas dari berapa banyak neutron atau elektron yang dimilikinya. Atom netral harus mengandung jumlah muatan positif dan negatif yang sama, sehingga jumlah proton sama dengan jumlah elektron. Oleh karena itu, nomor atom juga menunjukkan jumlah elektron dalam suatu atom. Jumlah total proton dan neutron dalam atom disebut nomor massa (A). Oleh karena itu, jumlah neutron adalah perbedaan antara nomor massa dan nomor atom: $A - Z = \text{jumlah neutron}$. nomor atom (Z) = jumlah proton massa atom (A) = jumlah proton + jumlah neutron $A - Z = \text{jumlah neutron}$ Atom bermuatan netral jika mengandung jumlah proton bermuatan positif dan elektron bermuatan negatif yang sama. Ketika jumlah partikel subatomik ini tidak sama, atom bermuatan listrik dan disebut ion. Muatan atom didefinisikan sebagai berikut: Muatan atom = jumlah proton – jumlah elektron Seperti yang akan dibahas secara lebih rinci nanti di bab ini, atom (dan molekul) biasanya memperoleh muatan dengan mendapatkan atau kehilangan elektron. Atom yang memperoleh satu atau lebih elektron akan menunjukkan muatan negatif dan disebut anion. Atom bermuatan positif yang disebut kation terbentuk ketika atom kehilangan satu atau lebih elektron. Misalnya netral atom natrium ($Z = 11$) memiliki 11 elektron. Jika atom ini kehilangan satu elektron, ia akan menjadi kation dengan muatan $1+$ ($11 - 10 = 1+$). Atom oksigen netral ($Z = 8$) memiliki delapan elektron, dan jika memperoleh dua elektron, ia akan menjadi anion dengan muatan $2-$ ($8 - 10 = 2-$).



Gambar 2.3. Struktur Atom
(Key & Ball, 2011)

6.3 Massa Atom

Satuan massa atom didefinisikan sebagai seperdua belas massa atom karbon-12, isotop karbon yang memiliki enam proton dan enam neutron di dalamnya inti. Dengan skala ini, massa proton adalah 1,00728 u, massa neutron adalah 1,00866 u, dan massa elektron adalah 0,000549 u. Tidak akan ada banyak kesalahan jika Anda memperkirakan massa atom hanya dengan menghitung jumlah total proton dan neutron dalam nukleus (yaitu, mengidentifikasi nomor massanya) dan mengabaikan elektron. Jadi, massa karbon-12 sekitar 12 u, massa oksigen-16 sekitar 16 u, dan massa uranium-238 sekitar 238 u. Massa yang lebih tepat ditemukan dalam referensi ilmiah — misalnya, massa persis uranium-238 adalah 238,050788 u, jadi Anda dapat melihat bahwa kita tidak jauh dengan menggunakan nilai bilangan bulat sebagai massa atom (Cruickshank *et al.*, 2008).

DAFTAR PUSTAKA

- Cruickshank, Brandon., Chang, Raymond., & Chang, Raymond. 2008. *Problem-solving workbook to accompany General chemistry, the essential concepts, fifth edition, Raymond Chang*. McGraw-Hill Higher Education.
- Flowers, P., Theopold, K. (Klaus H., Langley, R., Robinson, W. R., Blaser, M., Bott, S. (Simon G., Carpenetti, D., Eklund, A., El-Giar, E., Frantz, D. (Donald D., Hooker, P., Kaminski, G., Look, J., Martinez, C., Milliken, T., Moravec, V., Powell, J. D., Sorensen, T., Soult, A., ... Rice University. 2015. *Chemistry*. OpenStax College.
- Goldberg. 2007. *Fundamental of Chemistry* (fifth). The McGraw-Hill.
- Key, J. A., & Ball, D. W. 2011. *Introductory Chemistry-1st Canadian Edition*. <http://open.bccampus.ca>
- Paul R. Young. 2023. *Chem 100: Foundation of Chemistry* . LibreTexts.
- Tracy Poulsen. 2010. *Introduction to Chemistry* (1st ed.). Create Space Publisher.

BAB 3

TABEL PERIODIK

Oleh Ani Qomariyah

Sampai saat ini, unsur ditemukan di alam dalam jumlah yang cukup banyak, yaitu 118 unsur. Tentu saja untuk mempelajari satu persatu unsur ini tidaklah mudah. Ilmuwan-ilmuwan kimia telah membuat suatu sistem yang bertujuan agar kita lebih mudah untuk mempelajari unsur-unsur tersebut, yaitu dengan cara dibuat daftar dan penggolongan unsur, yang disebut sebagai Tabel Periodik. Perkembangan pembuatan tabel periodik sangat pesat dan melibatkan banyak ilmuwan kimia. Saat ini dikenal Tabel Periodik Unsur bentuk panjang yang merupakan pengembangan dari tabel periodik bentuk terdahulu (Hardjono Sastrohamidjodjo, 2018).

Johan W. Dobereiner pada tahun 1829, membuat pengelompokan unsur dengan cara yang sederhana. Dia mengelompokkan unsur yang mempunyai karakteristik yang sama dengan jumlah tiga unsur. Ternyata, massa unsur kedua merupakan massa rata-rata dari jumlahan unsur ketiga serta unsur yang pertama. Model pengelompokan unsur ini dikenal sebagai Triad Dobereiner. Sebagai contoh dijelaskan pada Tabel 3.1. di bawah ini:

Tabel 3.1. Tabel Periodik Model Triad Dobereiner

No.	Unsur	Massa Atom	Unsur	Massa Atom
1.	Klor (Cl)	35,450		
2.			Brom (Br)	79,920
3.	Iodin (I)	126,910		
	Rata-rata	81,180		

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa unsur Br mempunyai massa atom yang harganya dekat dengan rata-ratanya massa atom Cl dan I. Ilmuwan lain juga telah mengembangkan penyusunan unsur-unsur yang didasarkan pada bertambahnya massa atom. Ilmuwan tersebut yaitu John Newland. Sistem urutan unsur-unsur yang dikembangkan oleh John Newland disebut sebagai Hukum Oktaf. Dalam model ini, unsur-unsur dikelompokkan menurut kenaikan massa atom. Alhasil, setiap 8 unsur (oktaf=delapan), sifat unsur yang kesembilan akan sama dengan unsur yang pertama dan begitu seterusnya akan terulang secara berkala.

Setelah itu, ilmuwan lain juga mengembangkan model tabel periodik yaitu Lothar Matheus dan Mendeleev. Mereka sepakat mengembangkan tabel periodik berdasarkan kenaikan massa atomnya. Lothar Matheus lebih fokus kepada sifat fisiknya, sedangkan Mendeleev memperhatikan adanya kesamaan sifat kimia unsur. Pada mulanya, telah tersusun 60 unsur pada tabel periodik unsur model Mendeleev. Di dalam tabel tersebut ada banyak tabel kosong. Tabel kosong ini bisa dipenuhi oleh atom lain yang akan ditemukan seiring dengan berkembangnya teori atom. Namun, ternyata atom yang ditemukan tidak cocok jika diletakkan di tabel tersebut, sehingga tabel periodik model Mendeleev menjumpai banyak kelemahan.

Periodic Table of Elements
based on Mendeleev's Periodic Law

I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		
0	H 1.01															
He 4.00	Li 6.94	Be 9.01	B 10.8	C 12.0	N 14.0	O 16.0	F 19.0									
Ne 20.2	Na 23.0	Mg 24.3	Al 27.0	Si 28.1	P 31.0	S 32.1	Cl 35.5									
Ar 40.0	K 39.1	Ca 40.1	Sc 45.0	Ti 47.9	V 50.9	Cr 52.0	Mn 54.9	Fe 55.8	Co 58.9	Ni 58.7						
	• Cu 63.5	Zn 65.4	Ga 69.7	Ge 72.6	As 74.9	Se 79.0	Br 79.9									
Kr 83.8	Rb 85.5	Sr 87.6	Y 88.9	Zr 91.2	Nb 92.9	Mo 95.9	Tc (99)	Ru 101	Rh 102	Pd 106						
	• Ag 108	Cd 112	In 115	• Sn 119	Sb 122	Te 128	I 127									
Xe 131	Ce 138	Ba 137	La 139	Hf 179	Ta 181	W 184	Re 186	Os 190	Ir 192	Pt 195						
	• Au 197	• Hg 201	Tl 204	• Pb 207	Bi 209	Po (209)	At (210)									
Rn (222)	Fr (223)	Ra (226)	Ac (227)	Th 232	Pa (231)	U 238										

■ Lanthanide series
● Actinide series
● Known to Ancients

 Dobereiner's triads
 Known to Mendeleev

Gambar 3.1. Tabel Periodik Unsur Model Mendeleev

3.1 Tabel Periodik Panjang

Tabel unsur bentuk lain dikembangkan oleh ilmuwan lain, seperti Julius Thomson pada tahun 1895. Julius Thomson mengemukakan gagasan bahwa kenaikan nomor atomnya menyebabkan adanya fungsi periodik dari sifat-sifat unsur. Gagasan ini mirip dengan konsep teori mekanika kuantum yang kemudian berkembang. Tabel periodik unsur yang dikembangkan dan diajukan oleh Julius Thomson ini kemudian dikenal sebagai tabel periodik bentuk panjang. Pada tabel periodik jenis ini terdapat 2 (dua) jalur, yakni jalur kesamping (jalur horizontal) dan jalur kebawah (jalur vertikal) dan lebih jelasnya diilustrasikan pada Gambar 3.2. di bawah ini.

1	← Jalur Horizontal (Periode) →																2	
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70					
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb					
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102					
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No					

Gambar 3.2. Tabel Periodik Bentuk Panjang yang Menggambarkan Periode

3.1.1 Jalur Horizontal

Nama lain dari jalur horizontal adalah periode. Di dalam sistem periodik unsur bentuk panjang, terdapat 7 (tujuh) periode yang menyatakan jumlah kulit atom atau tingkatan energi atom. Di dalam setiap kotak terdapat angka kecil yang letaknya di atas lambang unsur. Angka ini menunjukkan nomor atom. Dimana nomor atom menunjukkan jumlah elektron maupun jumlah proton dalam suatu unsur. Periode pertama terdapat hanya dua unsur yaitu unsur H dan unsur He, dikarenakan jumlah elektron pada kedua unsur tersebut hanya sampai dengan kulit K atau subkulit 1s. Dimana konfigurasi unsur H yaitu $1s^1$ dan konfigurasi unsur He yaitu $1s^2$. Untuk unsur-unsur yang terletak di periode kedua, ada delapan (8) unsur yang bersesuaian dengan kulit L yaitu 2s dan 2p. Di periode ketiga, ada 8 unsur yang sesuai dengan kulit M (3s dan 3p) dikarenakan pada periode ini orbital d belum terisi oleh elektron.

Pada periode keempat yaitu pada kulit N, orbital 3d sudah mulai terisi oleh elektron. Dimana susunanya yaitu 4s, 3d, dan 4p. Sehingga terdapat 18 unsur yang menempati periode keempat ini.

Pada periode kelima, orbital 4d juga sudah mulai diisi oleh elektron. Pada periode kelima juga terdapat 18 unsur dengan elektron valensi 5s, 4d, dan 5p. Pada periode selanjutnya, yaitu periode keenam dan ketujuh, orbital f sudah mulai terisi. Jumlah unsur yang menempati periode keenam dan ketujuh ini yaitu 32 unsur. Hal ini beresuaian dengan elektron yang menempati orbital s, p, d, dan f (Zul Alfian, 2009).

Pada periode keenam, unsur pertama yang menempati orbital 4f yaitu Lantanum (La). Pada deret atau baris ini terisi 14 unsur yang memiliki sifat yang mirip dengan unsur Lantanum sehingga dikenal sebagai deret Lantanida. Unsur yang terletak di bawah unsur La yaitu unsur Actanida (Ac) yang mengisi orbital 5f. Kesemua unsur yang terletak pada deret atau sebaris dengan unsur Ac ini memiliki sifat mirip dengan unsur Ac, dan disebut sebagai deret Actinida (Hardjono Sastrohamidjodjo, 2018).

3.1.2 Jalur Vertikal

Nama lain dari jalur vertikal yaitu golongan. Golongan dalam sister periodik unsur bentuk panjang dibaca mulai dari atas ke bawah. Pada tabel periodik unsur dengan bentuk panjang, ada dua jenis golongan. Golongan yang pertama yaitu golongan A dimana golongan ini dikatakan juga sebagai golongan utama. Golongan yang kedua yaitu B yang juga dijuluki sebagai golongan transisi. Terdapat 8 golongan pada golongan A dimulai dari IA, IIA, IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA, VIIA. Nama golongan dituliskan dengan angka romawi. Untuk golongan B, ada 10 golongan yaitu IIIB, IVB, VB, VIB, VIIB, VIIIB (ada 3 golongan), IB dan IIB. Perhatikan Gambar 3.3. di bawah ini.

Jalur vertikal (Golongan)

IA																		VIIIA-0																	
1 H																		2 He																	
3 Li																		4 Be																	
11 Na																		12 Mg																	
13 Al																		14 Si																	
15 P																		16 S																	
17 Cl																		18 Ar																	
19 K																		20 Ca																	
21 Sc																		22 Ti																	
23 V																		24 Cr																	
25 Mn																		26 Fe																	
27 Co																		28 Ni																	
29 Cu																		30 Zn																	
31 Ga																		32 Ge																	
33 As																		34 Se																	
35 Br																		36 Kr																	
37 Rb																		38 Sr																	
39 Y																		40 Zr																	
41 Nb																		42 Mo																	
43 Tc																		44 Ru																	
45 Rh																		46 Pd																	
47 Ag																		48 Cd																	
49 In																		50 Sn																	
51 Sb																		52 Te																	
53 I																		54 Xe																	
55 Cs																		56 Ba																	
57 La																		58 Ce																	
59 Pr																		60 Nd																	
61 Pm																		62 Sm																	
63 Eu																		64 Gd																	
65 Tb																		66 Dy																	
67 Ho																		68 Er																	
69 Tm																		70 Yb																	
71 Lu																		72 Hf																	
73 Ta																		74 W																	
75 Re																		76 Os																	
77 Ir																		78 Pt																	
79 Au																		80 Hg																	
81 Tl																		82 Pb																	
83 Bi																		84 Po																	
85 At																		86 Rn																	
87 Fr																		88 Ra																	
89 Ac																		90 Th																	
91 Pa																		92 U																	
93 Np																		94 Pu																	
95 Am																		96 Cm																	
97 Bk																		98 Cf																	
99 Es																		100 Fm																	
101 Md																		102 No																	

Gambar 3.3. Tabel Periodik Bentuk Panjang yang Menggambarkan Golongan

Nama lain dari golongan golongan VA yaitu golongan nitrogen, golongan VIA yaitu golongan oksigen, golongan IIIA yaitu golongan boron, IA yaitu golongan alkali, golongan IIA yaitu golongan alkali tanah, golongan IVA yaitu golongan karbon, golongan VIIA yaitu golongan halogen, dan golongan VIIIA yaitu golongan gas mulia (Zul Alfian, 2009).

Elektron terakhir yang menempati golongan IA yaitu pada s^1 dan golongan IIA yaitu s^2 . Dilanjutkan dengan golongan IIIA hingga VIIIA dengan elektron terakhir mulai dari p^1 hingga p^6 . Golongan B memiliki elektron valensi pada orbital d, sedangkan golongan aktinida dan lantanida memiliki elektron valensi yang menempati orbital f (Qomariyah *et al.*, 2021). Unsur-unsur yang ada di golongan B merupakan unsur logam. Pada golongan IIIB hingga VIIB elektron terluarnya $ns^2 (n-1)d^{(1 \text{ hingga } 5)}$. Kita ambil contoh unsur yang terletak di periode 5 golongan IIIB akan memiliki elektron terluar $5s^2 4d^1$. Pada golongan VIIIB memiliki tiga kolom golongan. Hal ini memiliki arti bahwa ada kemungkinan tiga elektron valensi yang terletak

pada orbital d di golongan VIIIB. Elektron valensi yang menempati orbital ini secara umum dirumuskan sebagai: $ns^2(n-1)d^{(6 \text{ hingga } 8)}$. Orbital yang dimungkinkan yaitu d^6 , d^7 , dan d^8 . Contohnya unsur besi (Fe) dengan nomor atomnya yaitu dua puluh enam (26) yang kedudukannya di periode 4 golongan VIIIB mempunyai elektron terluar $4s^2 3d^6$. Untuk golongan IB mempunyai elektron terluar $ns^2(n-1)d^9$ dan untuk golongan IIB mempunyai elektron terluar $ns^2(n-1)d^{10}$.

Agar pemahaman terdapat penggolongan unsur ini lebih baik, maka dapat disederhakan berdasarkan jumlah elektron valensi yang dipunyai oleh masing-masing unsur itu. Penggolongan tersebut yaitu pada blok s, p, d, dan f. Blok s yaitu unsur-unsur yang terletak di elektron valensi pada orbital s yaitu pada golongan IA dan IIA. Blok p yaitu unsur yang elektron valensinya yaitu pada orbital p, terletak pada golongan IIIA hingga VIIIA. Blok d yaitu unsur yang elektron valensinya pada orbital d, terletak pada golongan IIIB hingga IIB. Terakhir, blok f yaitu unsur-unsur yang elektron valensinya pada orbital f yaitu yang terletak pada golongan Lantanida dan Aktinida. Lebih jelasnya, diilustrasikan pada Gambar 3.4. di bawah ini.

Blok s		Blok p, kecuali s ² pada periode 1																	
	IA		Blok d											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
1	s ¹	IIA																	s ²
2	s ¹	s ²												p ¹	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶
3	s ¹	s ²												p ¹	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶
4	s ¹	s ²	d ¹	d ²	d ³	d ⁴	d ⁵	d ⁶	d ⁷	d ⁸	d ⁹	d ¹⁰	p ¹	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶	
5	s ¹	s ²	d ¹	d ²	d ³	d ⁴	d ⁵	d ⁶	d ⁷	d ⁸	d ⁹	d ¹⁰	p ¹	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶	
6	s ¹	s ²	d ¹	d ²	d ³	d ⁴	d ⁵	d ⁶	d ⁷	d ⁸	d ⁹	d ¹⁰	p ¹	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶	
7	s ¹	s ²	d ¹	d ²	d ³	d ⁴	d ⁵	d ⁶	d ⁷	d ⁸	d ⁹	d ¹⁰	p ¹	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶	
Blok f																			
			f ¹	f ²	f ³	f ⁴	f ⁵	f ⁶	f ⁷	f ⁸	f ⁹	f ¹⁰	f ¹¹	f ¹²	f ¹³	f ¹⁴			
			f ¹	f ²	f ³	f ⁴	f ⁵	f ⁶	f ⁷	f ⁸	f ⁹	f ¹⁰	f ¹¹	f ¹²	f ¹³	f ¹⁴			

Gambar 3.4. Tabel Periodik dengan Pengelompokan Berdasarkan Blok

3.2 Hubungan Tabel Periodik dengan Sifat Unsur

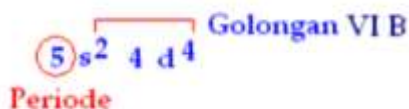
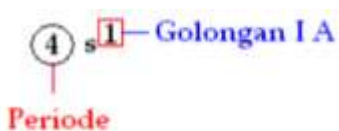
Dari penjelasan di atas, kita memahami bahwa dalam tabel periodik mencerminkan keperiodikan sifat-sifat unsur-unsur. Adapun sifat-sifat unsur yang terkait dengan tabel periodik diantaranya yaitu elektron valensi, energi ionisasi, kelogaman, jari-jari atom, elektronegativitas, dan afinitas elektron.

3.2.1 Elektron Valensi

Seperti yang kita ketahui sebelumnya bahwa sifat-sifat suatu unsur adalah fungsi dari naiknya nomor atomnya. Pembeda antara unsur yang satu dengan unsur yang lainnya adalah elektron valensi. Definisi dari elektron valensi yaitu suatu elektron yang kedudukannya berada pada orbital paling luar dalam sebuah atom. Atom paling luar ini bertugas mengadakan suatu interaksi kimia. Dalam satu golongan, dari atas ke bawah, elektron valensi unsur-unsur adalah sama, dikarenakan semua unsur terakhir pengisian adalah pada orbital s¹. Dalam tabel periodik unsur, dari kiri ke kanan, dalam satu periode, jumlah elektron valensi unsur-unsur

dalam sistem periodik adalah semakin meningkat. Elektron valensi suatu unsur jumlahnya adalah sama dengan nomor golongannya. Golongan IA, maka jumlah elektron valensi adalah 1 (satu) karena terletak pada orbital s^1 . Elektron valensi pada golongan IIA adalah 2 (dua) yang menempati orbital s^2 . Golongan IIIA, memiliki elektron valensi 3 (tiga) dikarenakan terletak pada orbital s^2p^1 . Golongan IVA memiliki 4 (empat) elektron valensi karena orbital terakhir adalah s^2p^2 . Begitu pula pada golongan VA, VIA, VIIA, dan VIIIA memiliki elektron valensi berturut-turut 5, 6, 7, dan 8 dengan orbital terluar adalah s^2p^3 , s^2p^4 , s^2p^5 , dan s^2p^6 . Jumlah dari elektron valensinya tersebut adalah jumlahan dari elektron dari orbital s dan orbital p. Untuk unsur yang kedudukannya di golongan transisi (IIIB hingga IIB) maka jumlah elektron valensinya adalah jumlahan dari orbital s dan orbital d nya. Sebagai contoh unsur yang kedudukannya di golongan VB, maka elektron valensinya adalah 5 (lima) dikarenakan kulit terluarnya adalah s^2d^3 .

Kita dapat menarik kesimpulan bahwa penentu dari golongan adalah elektron valensi. Elektron valensi berguna untuk mengetahui kedudukan unsur dalam tabel periodik. Apabila suatu unsur memiliki elektron valensi, maka dapat ditentukan unsur tersebut berada pada golongan berapa, seperti contoh di bawah ini:

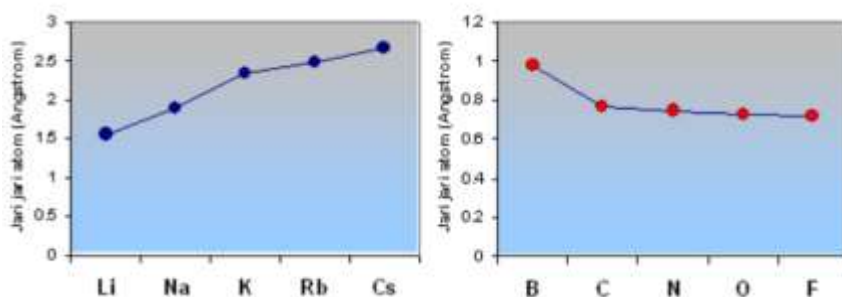


3.2.2 Jari-jari Atom

Jari-jari atom didefinisikan sebagai jarak dari inti atom sampai dengan elektron valensi (elektron pada kulit terluar) (Heny Ekawati Haryono, 2019). Dalam satu golongan (dari atas ke bawah), jari-jari atom semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin banyak kulit atom, maka energinya semakin tinggi dan ukuran atom juga semakin besar. Hal ini mengakibatkan jarak antara inti atom ke

elektron kulit terluar pun juga akan semakin meningkat. Sebagai contoh ukuran jari-jari atom unsur-unsur golongan IA adalah $\text{Li} < \text{Na} < \text{K} < \text{Rb} < \text{Cs}$. Dimana Li (litium) terletak pada kulit K, Na (Natrium) terletak pada kulit L, K (Kalium) terletak pada kulit M, dan seterusnya.

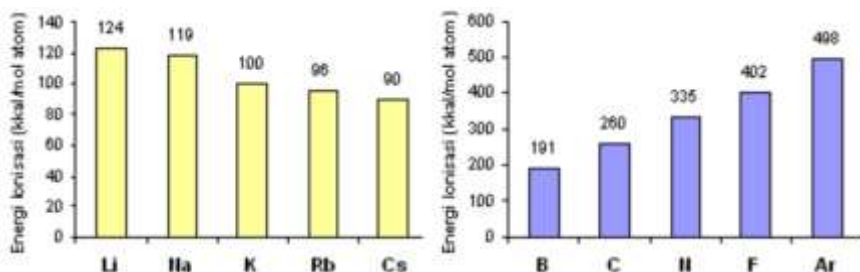
Pada satu periode yaitu dari kiri ke kanan, jari-jari atom semakin menurun. Hal ini dikarenakan dalam satu periode, jumlah kulit atom adalah sama (atom memiliki tingkat energi yang sama) tetapi jumlah inti atom semakin banyak. Jumlah inti atom yang semakin banyak ini mengakibatkan gaya tarik inti terhadap elektron akan semakin kuat. Hal ini mengakibatkan jari-jari atom menjadi semakin mengecil.



Gambar 3.5. Jari-jari Atom Golongan IA Semakin Meningkat dan Dalam Satu Periode Semakin Menurun

3.2.3 Energi Ionisasi dan Kelogaman

Energi yang paling rendah yang digunakan oleh suatu atom untuk dapat melepaskan elektron terluarnya (elektron valensinya), merupakan definisi dari energi ionisasi. Dari hasil eksperimen, dari atas ke bawah dalam satu golongan, diketahui bahwa harga energi ionisasi menurun. Dari kiri ke kanan, dalam satu periode, diketahui bahwa energi ionisasi semakin meningkat. Penurunan dan kenaikan energi ionisasi dalam Tabel Periodik dijelaskan pada Gambar 3.6. di bawah ini:



Gambar 3.6. Energi Ionisasi pada Satu Golongan Semakin Menurun dan pada Satu Periode Semakin Meningkat

Energi ionisasi unsur-unsur dalam satu golongan yang semakin menurun disebabkan karena jumlah kulit atom semakin banyak sehingga elektron terluarnya semakin jauh dari inti. Elektron yang letaknya semakin jauh dari inti ini, maka untuk lepasnya akan membutuhkan energi yang juga lebih kecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa energi ionisasi atom dalam satu golongan semakin ke bawah maka semakin kecil (Hardjono Sastrohamidjodjo, 2018).

Dalam sistem periodik unsur dari kiri ke kanan, jumlah kulit atom adalah sama, sedangkan jumlah elektron semakin banyak pada kulit tersebut. Untuk melepas satu elektron dari kulit yang memiliki jumlah elektron banyak, maka dibutuhkan energi yang semakin besar pula. Sehingga dapat dikatakan bahwa dalam sistem periodik unsur, dari kiri ke kanan, nilai energi ionisasi akan semakin besar.

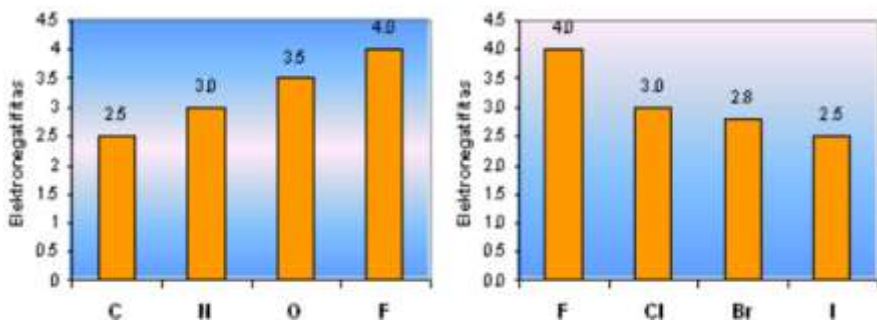
Sifat kelogaman suatu unsur juga dipengaruhi oleh besar kecilnya energi ionisasinya. Sifat kelogaman berbanding terbalik dengan energi ionisasi. Oleh karena hal ini, maka dalam sistem periodik unsur yaitu dalam satu golongan dari atas ke bawah sifat kelogaman suatu unsur semakin meningkat. Sebaliknya, pada sistem periodik unsur, dari kiri ke kanan dalam satu periode, sifat kelogaman unsur akan semakin mengecil. Hal ini senada dengan elektron valensi pada atom-atom yang berkedudukan di daerah

sebelah kanan pada sistem periodik unsur, yaitu merupakan orbital p yang bersifat non-logam (Zul Alfian, 2009).

3.2.4 Afinitas Elektron dan Elektronegativitas

Suatu energi yang dibebaskan oleh suatu atom dengan tujuan guna mendapatkan elektron disebut sebagai afinitas elektron. Dengan adanya pembebasan energi yang dilakukan oleh atom ini, menunjukkan bahwa ion negatif akan cenderung dibentuk oleh atom tersebut. Dalam sistem periodik unsur, dari atas ke bawah (satu golongan), nilai afinitas elektron didapatkan akan semakin menurun. Penurunan ini dikarenakan elektron terletak jauh dari inti atom. Elektron juga terletak pada kedudukan energi yang lebih tinggi sehingga tarikannya pun juga akan semakin menurun. Pada tabel periodik unsur, dari atas ke bawah dalam satu periode, nilai afinitas elektron yaitu semakin besar.

Apabila ditinjau dari sisi atom, maka ada hubungannya dengan sifat elektronegativitas. Sifat elektronegativitas dari suatu atom adalah suatu kemampuan atom dalam menarik atau mendekatkan elektron. Nilai elektronegativitas pada suatu atom akan sebanding dengan nilai sifat afinitas elektron. Apabila nilai afinitas elektron yang didapatkan semakin kecil, maka akan semakin kecil pula nilai elektronegativitasnya. Sehingga, dari bawah ke atas dalam satu golongan, elektronegativitas semakin menurun, dan dalam satu periode dari kiri ke kanan elektronegativitas semakin naik.



Gambar 3.7. Elektronegativitas untuk Periode 3 dan Golongan VIIA

Apabila kita lihat contoh pada Gambar 3.7. di atas, pada golongan VIIA nilai elektronegativitas semakin turun. Penurunan nilai elektronegativitas ini dikarenakan semakin jauhnya jarak antara elektron terluar (valensi) terhadap inti atom. Jauhnya jarak ini mengurangi daya tarik elektron yang membuat atom tersebut kurang menarik proton maupun elektron (Hardjono Sastrohamidjodjo, 2018). Sedangkan pada periode 3, kenaikan nilai elektronegatifitas atom dikarenakan jari-jari atom yang semakin pendek (Zulfikar, 2008). Jari-jari atom yang semakin pendek ini menyebabkan daya tarik suatu inti atom kepada suatu elektronnya akan semakin kuat sehingga nilai elektronegatifitas akan semakin naik (Hardjono Sastrohamidjodjo, 2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Hardjono Sastrohamidjodjo, 2018. Kimia Dasar. UGM Press, Yogyakarta.
- Heny Ekawati Haryono, 2019. Kimia Dasar. Deepublish Publisher, Yogyakarta.
- Qomariyah, A., Nuryono, N., Kunarti, E.S., 2021. Recovery of Gold in Au/Cu/Mg System from SH/Fe₃O₄@SiO₂ as a Magnetically Separable and Reusable Adsorbent. Indo. J. Chem. Res. 9, 26–34. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2021.9-ani>
- Zul Alfian, 2009. Kimia Dasar. USU Press, Medan.
- Zulfikar, 2008. Kimia Kesehatan. Kementerian Kesehatan RI, Jakarta.

BAB 4

REAKSI KIMIA

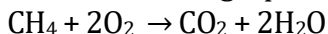
Oleh Eka Cahya Muliawati

4.1 Definisi

Pengertian dari reaksi kimia adalah suatu perubahan kondisi dimana kondisi bahan dasar (reaktan) menjadi bahan akhir (produk), kondisi perubahan tersebut mengalami perubahan secara kimia membentuk bahan baru yang berbeda dari bahan dasarnya. Penulisan suatu persamaan reaksi kimia berdasarkan bahan-bahan dasar atau zat yang bereaksi menggunakan simbol- simbol lambang unsur kimia yang ada pada sistem periodik unsur (SPU).

Dalam kimia, unsur-unsur kimia direpresentasikan oleh simbol-simbol kimia yang umumnya berasal dari bahasa Latin atau nama-nama ilmiah dari unsur-unsur tersebut pada SPU. Misalnya, simbol "H" mewakili hidrogen, "O" mewakili oksigen, dan seterusnya. Senyawa-senyawa kimia, yang terdiri dari dua atau lebih unsur yang terikat bersama, direpresentasikan oleh rumus kimia. Contohnya, air direpresentasikan dengan rumus "H₂O", yang berarti setiap molekul air terdiri dari dua atom hidrogen dan satu atom oksigen. Reaksi kimia, di mana unsur-unsur dan senyawa-senyawa bergabung atau terurai untuk membentuk senyawa-senyawa lain, direpresentasikan dengan persamaan reaksi kimia. Setiap zat dalam reaksi diwakili oleh rumus kimia atau simbol kimia.

Sebagai contoh, reaksi pembakaran metana (CH₄) dalam udara untuk menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O) dapat direpresentasikan sebagai persamaan reaksi:

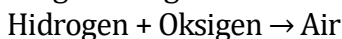


Dalam persamaan ini, " CH₄ " adalah reaktan, "2O₂" adalah oksigen yang diperlukan, " CO₂ " dan "2H₂O " adalah produk dari reaksi. Persamaan reaksi kimia penting untuk menggambarkan perubahan kimia yang terjadi selama reaksi dan memahami bagaimana unsur-unsur dan senyawa-senyawa berinteraksi untuk membentuk senyawa-senyawa baru.

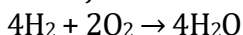
Ada 3 tahapan yang perlu di perhatikan dalam penulisan persamaan reaksi kimia diantaranya yaitu :

1. Penulisan Persamaan Reaksi

Misalnya persamaan reaksi dari campuran unsur gas hidrogen dan gas oksigen menghasilkan larutan air yaitu:



Hal pertama yang perlu dituliskan mengubah nama bahan-bahan atau unsur yang bereaksi tersebut menjadi lambang unsur kimia atau senyawa kimia. Sehingga persamaan reaksinya menjadi :



Dalam suatu persamaan reaksi kimia, bahan-bahan dasar yang bereaksi ditampilkan disebelah kiri panah atau sebelum tanda panah dan bahan hasil reaksi berada disebelah kanan panah atau disebut produk. Ketika ada lebih dari satu reaktan atau produk, simbol atau rumus di setiap sisi persamaan dipisahkan oleh tanda (+). Kata menghasilkan diwakili oleh tanda panah.

2. Penulisan wujud zatnya

Berikutnya menuliskan wujud zat yang bereaksi dengan simbol dibawah ini yaitu :

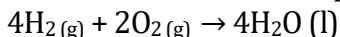
Wujud zat gas dituliskan dengan simbol (g)

Wujud zat cair dituliskan dengan simbol (l)

Wujud zat padat dituliskan dengan simbol (s)

Wujud zat larutan dituliskan dengan simbol (aq)

Misal persamaan reaksi air diatas penulisannya menjadi :

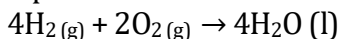


3. Penulisan Koefisien Reaksi dan Penyetaraan rumus kimia

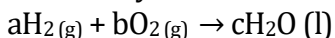
Hal akhir yang perlu diperhatikan adalah koefisien reaksi. Koefisien reaksi adalah angka yang ditempatkan di depan simbol kimia dalam persamaan reaksi kimia untuk mengindikasikan jumlah relatif dari reaktan dan produk yang terlibat dalam reaksi tersebut. Koefisien ini penting karena mereka menggambarkan rasio stoikiometri antara zat-zat yang terlibat dalam reaksi.

Salah satu fungsi penting dari persamaan kimia adalah untuk mendemonstrasikan hukum kekekalan massa (hukum Lavoisier), yang menyatakan bahwa massa (dalam hal ini massa atom) tidak bisa diciptakan atau dihancurkan. Dalam teori atom Dalton, hukum ini dijelaskan untuk reaksi kimia. Dia mengusulkan bahwa reaksi hanyalah pengaturan ulang jumlah atom yang sama sebelum dan setelah bereaksi. Jika diperhatikan dengan seksama persamaan di atas, terlihat bahwa ada dua atom oksigen di sebelah kiri namun hanya satu di sebelah kanan. Untuk sesuai dengan hukum kekekalan massa, suatu persamaan harus mempunyai jumlah atom yang sama dikiri dan kanan dari tanda panah.

Misalnya pada persamaan reaksi air tersebut :



Maka koefisien reaksinya di misalkan a,b dan c



adalah $a = 4$, $b = 2$, dan $c=4$ sehingga pada persamaan kimia tersebut dapat dilihat bahwa koefisien H disisi kiri 4 dan ada 2 atom H maka (4×2) atau ada sejumlah 8 atom H disisi kiri tanda panah dan koefisien atom O adalah 2 sehingga jumlah atom O disisi kiri ada 4. Sementara disisi kanan tanda panah koefisien utk molekul H_2O adalah 4. Jadi jumlah atom masing- masing disisi kiri/kanan (sebelum/sesudah reaksi) sudah sama/setara untuk jumlah atom Hidrogen = 8 dan Oksigen = 4. Ini berarti bahwa empat molekul hidrogen (H_2) bereaksi dengan dua molekul oksigen (O_2) untuk

menghasilkan empat molekul air (H_2O). Koefisien ini menggambarkan fakta bahwa perbandingan stoikiometri antara hidrogen dan oksigen adalah 2:1 dalam reaksi ini. Koefisien reaksi penting karena mereka membantu menjaga hukum kekekalan massa dan energi dalam reaksi kimia. Jumlah atom dari setiap unsur di sebelah kiri persamaan reaksi harus sama dengan jumlah atom dari setiap unsur di sebelah kanan persamaan reaksi. Dengan kata lain, jumlah atom harus seimbang. Koefisien reaksi digunakan untuk mencapai keseimbangan ini. Pada umumnya, saat menyeimbangkan persamaan reaksi, kita dapat mengubah koefisien reaksi, tetapi kita tidak boleh mengubah subskrip di dalam rumus kimia karena itu akan mengubah identitas senyawa.

Dalam menyetarakan persamaan reaksi kimia, ada tiga hal utama yang harus diperhatikan:

1. **Hukum Kekekalan Massa:** Jumlah total massa reaktan harus sama dengan jumlah total massa produk. Ini berarti bahwa tidak ada atom yang "hilang" atau "ditambahkan" selama reaksi kimia.
2. **Hukum Kekekalan Bilangan:** Jumlah total atom dari setiap unsur di sebelah kiri persamaan reaksi harus sama dengan jumlah total atom dari unsur yang sama di sebelah kanan persamaan reaksi. Ini memastikan bahwa semua atom yang ada dalam reaktan juga ada dalam produk.
3. **Koefisien Stokiometri yang Sederhana:** Ketika menyetarakan persamaan reaksi, kita ingin menggunakan koefisien yang sesederhana mungkin. Ini berarti kita ingin menggunakan bilangan bulat terkecil yang memungkinkan untuk menyeimbangkan persamaan.

Langkah-langkah umum dalam menyetarakan persamaan reaksi adalah sebagai berikut:

1. **Identifikasi Reaktan dan Produk:** Tentukan reaktan dan produk yang terlibat dalam reaksi.

2. **Tentukan Atom yang Tidak Seimbang:** Periksa persamaan reaksi dan identifikasi atom-atom yang jumlahnya tidak seimbang antara reaktan dan produk.
3. **Mulai Menyeimbangkan:** Mulailah dengan menambahkan koefisien reaksi ke atom-atom yang tidak seimbang. Mulailah dengan unsur-unsur yang muncul dalam senyawa paling sedikit terlebih dahulu.
4. **Periksa Kembali dan Koreksi:** Setelah menambahkan koefisien, periksa kembali persamaan reaksi untuk memastikan bahwa jumlah atom dan massa sudah seimbang. Jika belum, terus koreksi dengan menyesuaikan koefisien.
5. **Pastikan Koefisien Sederhana:** Setelah persamaan seimbang, pastikan bahwa koefisien yang digunakan sesederhana mungkin.

Proses ini dapat berulang-ulang hingga persamaan reaksi seimbang sesuai dengan tiga prinsip di atas.

4.2 Ciri-ciri terjadi reaksi kimia

Terdapat beberapa ciri-ciri yang dapat mengindikasikan terjadinya reaksi kimia. Reaksi kimia merupakan perubahan zat-zat awal menjadi zat-zat baru dengan ikatan-ikatan atom yang berubah. Berikut adalah beberapa ciri-ciri yang dapat mengindikasikan terjadinya reaksi kimia antara dua atau lebih zat antara lain :

1. **Perubahan Warna:** Jika zat-zat yang terlibat dalam reaksi mengalami perubahan warna secara tiba-tiba, itu bisa menjadi tanda terjadinya reaksi kimia. Contoh, jika logam besi yang awalnya berwarna perak menjadi berkarat dan berubah warna menjadi coklat kemerahan. Atau jika warna zat berubah setelah dicampur dengan zat lain, ini bisa menjadi indikasi adanya reaksi kimia.
2. **Pembentukan Endapan:** Jika reaksi menghasilkan endapan padat yang terlihat sebagai partikel-partikel padat

yang mengendap ke dasar wadah, itu bisa menunjukkan bahwa terjadi reaksi kimia. Contoh, ketika campuran larutan natrium klorida (NaCl) dan larutan perak nitrat (AgNO_3) membentuk endapan putih natrium klorida (NaCl).

3. **Pembentukan Gas:** Jika reaksi menghasilkan gas dalam bentuk gelembung atau gas yang keluar dari larutan, ini bisa menjadi tanda reaksi kimia. Misalnya, ketika asam cuka (asam asetat) direaksikan dengan baking soda (natrium bikarbonat), menghasilkan gas karbon dioksida. Gelembung gas yang keluar dari campuran tersebut karena terjadi peningkatan tekanan dalam suatu wadah tertutup.
4. **Perubahan Suhu:** Jika suhu lingkungan atau suhu sistem reaksi mengalami perubahan yang signifikan, ini dapat menandakan terjadinya reaksi kimia. Reaksi eksotermis melepaskan panas (meningkatkan suhu), sementara reaksi endotermis menyerap panas (menurunkan suhu).
5. **Perubahan Energi:** Perubahan energi dalam bentuk panas, cahaya, atau energi lainnya adalah tanda karakteristik dari reaksi kimia. Misalnya, reaksi pembakaran adalah reaksi kimia yang melepaskan energi dalam bentuk panas dan cahaya.
6. **Perubahan Bau:** Beberapa reaksi kimia dapat menghasilkan zat dengan bau yang berbeda dari zat-zat awalnya. Contohnya, bau khas yang dihasilkan dari reaksi pembusukan makanan.
7. **Perubahan Rasa:** Terkadang, reaksi kimia dapat menghasilkan senyawa dengan rasa yang berbeda dari zat-zat awalnya. Ini mungkin sulit diidentifikasi dalam konteks laboratorium, tetapi reaksi kimia dalam dunia kuliner sering kali menghasilkan perubahan rasa.
8. **Perubahan Kelarutan:** Jika terjadi perubahan kelarutan suatu zat dalam pelarut tertentu setelah direaksikan dengan zat lain, ini bisa menunjukkan adanya reaksi kimia.

9. **Perubahan pH:** Jika reaksi menghasilkan perubahan pH, ini bisa menjadi tanda bahwa reaksi kimia terjadi. Misalnya, perubahan warna dalam larutan indikator pH dapat mengindikasikan perubahan pH akibat reaksi.
10. **Pergantian Struktur Molekuler:** Jika struktur molekuler suatu zat berubah akibat reaksi dengan zat lain, ini adalah ciri nyata dari reaksi kimia. Perubahan ini mungkin tidak selalu mudah diamati tanpa menggunakan alat analitik.
11. **Pengeluaran atau Penyerapan Cahaya:** Beberapa reaksi kimia dapat menghasilkan cahaya, seperti dalam reaksi luminisensi atau fluoresensi. Juga, reaksi kimia tertentu dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu.

Penting untuk diingat bahwa tanda-tanda ini seringkali harus dianalisis bersama-sama untuk memahami apakah reaksi kimia benar-benar terjadi. Dalam situasi tertentu, lebih dari satu ciri mungkin terjadi secara bersamaan (Martino, 1982).

4.3 Faktor – faktor penyebab terjadinya reaksi kimia

Terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan, arah, dan hasil dari reaksi kimia. Beberapa faktor utama yang memainkan peran penting dalam mengatur dan mempengaruhi reaksi kimia meliputi:

1. **Konsentrasi Zat-zat Reaktan:** Konsentrasi zat-zat reaktan (pereaksi) adalah salah satu faktor paling penting yang mempengaruhi kecepatan reaksi. Semakin tinggi konsentrasi reaktan, semakin sering molekul berinteraksi, semakin besar peluang tumbukan antar-partikel reaktan, yang dapat mengarah pada pembentukan produk lebih cepat.
2. **Suhu:** Suhu memengaruhi kecepatan reaksi karena suhu yang lebih tinggi meningkatkan energi kinetik partikel-partikel reaktan. Ini mengarah pada tumbukan yang lebih sering dan

energi, yang pada gilirannya meningkatkan kecepatan reaksi. Reaksi biasanya berjalan lebih lambat pada suhu yang lebih rendah.

3. **Luas Permukaan:** Jika reaksi melibatkan padatan atau zat-zat dalam bentuk padatan ataupun dalam bentuk cairan, luas permukaan zat tersebut juga mempengaruhi kecepatan reaksi. Permukaan yang lebih besar memberikan lebih banyak area kontak di antara zat-zat reaktan, yang dapat meningkatkan peluang tumbukan dan kecepatan reaksi mudah terjadi.
4. **Katalisator:** Katalisator adalah zat yang dapat mempercepat reaksi kimia tanpa ikut bereaksi sendiri. Katalisator berfungsi mengurangi energi aktivasi yang diperlukan untuk memulai reaksi. Ini mengakibatkan lebih banyak partikel memiliki energi yang cukup untuk berinteraksi, sehingga meningkatkan kecepatan reaksi.
5. **Tekanan (untuk Reaksi Gas):** Dalam reaksi yang melibatkan gas, tekanan juga bisa mempengaruhi reaksi. Peningkatan tekanan dapat mengakibatkan peningkatan kecepatan reaksi karena meningkatkan kepadatan gas, yang pada gilirannya meningkatkan peluang tumbukan.
6. **Energi Aktivasi:** Energi aktivasi adalah energi minimum yang diperlukan agar reaksi kimia dapat dimulai. Semakin rendah energi aktivasi, semakin mudah reaksi dimulai dan berlangsung. Kenaikan suhu atau penggunaan katalisator dapat mengurangi energi aktivasi.
7. **Efek Zat Pendukung:** Beberapa reaksi membutuhkan zat pendukung tertentu agar dapat berlangsung. Zat pendukung ini biasanya tidak terlibat secara langsung dalam reaksi, tetapi memfasilitasi atau memungkinkan reaksi terjadi.
8. **Radiasi:** Paparan radiasi elektromagnetik tertentu, seperti sinar ultraviolet atau sinar gamma, dapat mempengaruhi reaksi kimia dengan merusak ikatan-ikatan molekul dan merangsang pembentukan radikal bebas.

9. **Keberadaan Senyawa Inhibitor:** Inhibitor adalah senyawa yang menghambat atau melambatkan reaksi kimia. Inhibitor bekerja dengan mengganggu langkah-langkah dalam jalur reaksi atau mengikat reaktan sehingga mengurangi jumlah reaktan yang tersedia untuk berpartisipasi dalam reaksi.
10. **Kekuatan Ikatan Kimia:** Kekuatan ikatan kimia dalam zat pereaksi juga mempengaruhi reaktivitasnya. Senyawa dengan ikatan yang lebih lemah cenderung lebih mudah untuk bereaksi.
11. **Kondisi Lingkungan:** Faktor-faktor lingkungan seperti pH, kelembaban, dan kehadiran bahan-bahan lain juga dapat mempengaruhi reaksi kimia, terutama reaksi yang melibatkan senyawa-senyawa yang bersifat asam atau basa.
12. **Konsentrasi Katalis:** Konsentrasi katalis juga bisa mempengaruhi kecepatan reaksi. Peningkatan konsentrasi katalis dalam batas tertentu bisa mempercepat reaksi, namun ada titik di mana penambahan lebih banyak katalis tidak akan lagi meningkatkan kecepatan reaksi.
13. **Stoikiometri:** Hubungan antara perbandingan jumlah molekul atau atom dalam reaksi kimia juga memainkan peran penting dalam reaksi. Jumlah yang tepat dari masing-masing zat pereaksi diperlukan untuk mencapai hasil reaksi yang diinginkan.

Semua faktor di atas saling berhubungan dan dapat mempengaruhi bagaimana reaksi kimia terjadi. Pemahaman tentang faktor-faktor ini membantu ilmuwan dan ahli kimia mengontrol dan memprediksi reaksi kimia, serta mengembangkan aplikasi praktis seperti obat-obatan, bahan kimia industri, dan banyak hal lainnya.

4.4 Macam-macam Reaksi Kimia

Reaksi kimia dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan perubahan dalam struktur dan komposisi molekul. Di bawah ini adalah beberapa macam reaksi kimia yang umum terjadi:

1. Reaksi Pemisahan:

- a. Dekomposisi (Pemecahan): Suatu zat terurai menjadi zat-zat yang lebih sederhana. Contoh: dekomposisi hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.
- b. Elektrolisis: Zat terurai menjadi zat-zat yang lebih sederhana dengan bantuan arus listrik. Contoh: elektrolisis air menjadi hidrogen dan oksigen.

2. Reaksi Penggabungan:

- a. Sintesis: Zat-zat sederhana bergabung menjadi zat yang lebih kompleks. Contoh: sintesis amonia dari nitrogen dan hidrogen.
- b. Penggabungan Oksigen dengan Logam: Pembentukan oksida logam melalui reaksi dengan oksigen.

3. Reaksi Pemindahan Elektron:

- a. Oksidasi-Reduksi (Redoks): Transfer elektron dari satu zat ke zat lain. Oksidasi adalah kehilangan elektron, sementara reduksi adalah penerimaan elektron.

4. Reaksi Substitusi:

- a. Substitusi Nukleofilik: Penggantian suatu gugus fungsi dengan gugus fungsi lain oleh nukleofil.
- b. Substitusi Elektrofilik: Penggantian suatu gugus fungsi dengan gugus fungsi lain oleh elektrofil.

5. Reaksi Asam-Basa:

- a. Netralisasi: Reaksi antara asam dan basa untuk membentuk garam dan air.
- b. Disosiasi Ion: Pemisahan ion-ion dari senyawa ionik dalam larutan.

6. Reaksi Pertukaran:

- a. Reaksi Metatesis: Pertukaran ion antara senyawa-senyawa yang bereaksi.

7. Reaksi Organik:

- a. Reaksi Esterifikasi: Pembentukan ester melalui reaksi antara asam dan alkohol.
- b. Reaksi Saponifikasi: Pembentukan sabun melalui reaksi antara lemak dan basa kuat.

8. Reaksi Polimerisasi:

- a. Polimerisasi Adisi: Monomer-monomer tambahan bergabung membentuk polimer. Contoh: polimerisasi etilena membentuk polietilen, polimerisasi eugenol menjadi polieugenol ((Muliawati *et al.*, 2017, 2019; Cahya Muliawati, Yustia and Mirzayanti, 2021).
- b. Polimerisasi Kondensasi: Monomer-monomer melepaskan senyawa kecil (seperti air) saat bergabung membentuk polimer. Contoh: polimerisasi asam amino membentuk protein.

9. Reaksi Oksidasi:

- a. Oksidasi Alkohol: Alkohol teroksidasi menjadi aldehida atau asam karboksilat.
- b. Oksidasi Hidrokarbon: Pembakaran hidrokarbon dalam oksigen menghasilkan karbon dioksida dan air.

10. Reaksi Fotokimia:

- a. Fotolisis: Pembelahan zat-zat kimia oleh energi cahaya, sering terjadi dalam proses fotosintesis.

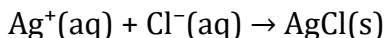
11. Reaksi Nuklir:

- a. Fisi Nuklir: Pembelahan inti atom menjadi inti-inti yang lebih kecil, melepaskan energi.
- b. Fusi Nuklir: Penggabungan inti atom menjadi inti yang lebih besar, melepaskan energi.

12. Reaksi Pengendapan :

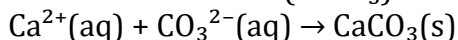
Reaksi pengendapan adalah jenis reaksi kimia di mana dua senyawa larut dalam pelarut, biasanya air, bereaksi bersama untuk menghasilkan produk baru yang tidak larut, yang disebut endapan. Jika salah satu produk reaksi adalah senyawa yang tidak larut dalam air, maka reaksi tersebut dapat dikategorikan sebagai reaksi pengendapan.

Contoh klasik reaksi pengendapan adalah reaksi antara ion logam berat seperti ion perak (Ag^+) dengan ion klorida (Cl^-) dalam larutan untuk menghasilkan endapan senyawa perak klorida (AgCl), yang tidak larut dalam air. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Senyawa perak klorida (AgCl) akan jatuh ke bawah sebagai endapan padat karena tidak larut dalam air.

Contoh lainnya adalah reaksi antara ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion karbonat (CO_3^{2-}) dalam larutan untuk membentuk endapan kalsium karbonat (CaCO_3):



Kalsium karbonat (CaCO_3) juga akan terbentuk sebagai endapan padat karena kecenderungannya untuk tidak larut dalam air.

Dalam kedua contoh di atas, karena salah satu produk reaksi tidak larut dalam air, maka reaksi ini dapat dikategorikan sebagai reaksi pengendapan.

Ini hanya beberapa contoh dari berbagai macam reaksi kimia yang ada. Setiap jenis reaksi ini memiliki karakteristik dan kondisi tertentu yang mengarah pada perubahan yang berbeda dalam struktur molekul. Reaksi-reaksi ini dapat memiliki aplikasi luas dalam berbagai bidang, termasuk industri, ilmu pengetahuan, dan teknologi.

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.
- Martino, J.T. 1982. 'Basic concepts of chemistry', *Journal of Chemical Education*, 59(6), p. 535. Available at: <https://doi.org/10.1021/ed059p535.1>.
- 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 5

SENYAWA KIMIA

Oleh Andis Sugrani

5.1 Mengenal Senyawa Kimia

Senyawa kimia memiliki rumus kimia, memiliki perbandingan jumlah atom dalam zat, dan memiliki sifat lain yang membedakannya dari unsur. Senyawa kimia adalah zat kimia murni yang terdiri dari dua unsur atau lebih yang dapat diuraikan menjadi unsur penyusunnya melalui reaksi kimia (Utelbayev, et al. 2013). Senyawa kimia jika dipanaskan hingga suhu tertentu, akan terurai menjadi atom atau senyawa yang lebih kecil, Proses ini disebut dengan dekomposisi atau penguraian senyawa. Penguraian menjadi unsur-unsur penyusunnya Senyawa dapat berwujud dalam beberapa fase, seperti padat, cair, atau gas (Schwarzenbach, et al. 2016).

Rumus kimia dan juga tata nama senyawa merupakan hal yang penting diketahui untuk mengenal senyawa kimia. Rumus kimia memberikan informasi tentang komposisi, jumlah, dan jenis atom dalam suatu senyawa, sedangkan tata nama berfungsi memberikan nama pada senyawa kimia (Aysu & Küçük. 2014). Selain rumus kimia dan tata nama pemahaman akan senyawa organik dan senyawa anorganik juga merupakan hal penting dalam mengenal senyawa kimia (Schwarzenbach, et al. 2016). Senyawa organik terdiri dari unsur karbon dan hidrogen atau biasa dikenal dengan senyawa hidrokarbon, sedangkan senyawa anorganik terdiri dari unsur-unsur lainnya. Contoh senyawa organik antara lain gula dan alkohol, sedangkan contoh senyawa anorganik antara lain natrium klorida (garam dapur).

Mengetahui senyawa kimia juga memerlukan pemahaman sifat-sifat kimia, seperti suhu, titik didih, titik beku, indeks bias, dan massa jenis. Tergantung pada jenis senyawa dan lingkungan sekitarnya, karakteristik ini mungkin saja dapat berubah. Senyawa kimia juga dapat diklasifikasikan menurut cara pembentukannya apakah pembentukannya secara alami atau melalui proses kimia. Senyawa yang terbentuk melalui reaksi kimia memiliki sifat yang berbeda dengan senyawa yang terbentuk secara alami (Stoker. 2015).

Proses suatu senyawa kimia bereaksi dengan bahan kimia lain untuk membuat bahan kimia baru disebut sebagai reaksi kimia. Senyawa kimia dapat berinteraksi dengan lingkungan serta dapat bereaksi dengan benda-benda di sekitarnya seperti udara, air, atau bahan kimia lainnya. Kemampuan senyawa kimia berinteraksi dengan lingkungan ini menyebabkan senyawa kimia memiliki dampak positif maupun negatif. Sebagai dampak positif senyawa kimia memainkan peran penting dalam kehidupan sehari-hari. Di berbagai industri, termasuk manufaktur, pertanian, dan kesehatan (Matthews. 2015). Senyawa digunakan dalam pembuatan hal-hal seperti bahan kimia, pupuk, obat-obatan, dan bahan bakar. Selain itu, juga perlu dipahami bahwa senyawa kimia dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia jika tidak ditangani dengan baik. Beberapa senyawa dapat bersifat beracun atau berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan senyawa perlu diatur dan dikendalikan dengan baik.

Mengenal senyawa kimia adalah hal penting dalam memahami kimia secara keseluruhan. Senyawa memiliki ciri-ciri dan sifat-sifat tertentu yang perlu dipahami, serta memiliki peran yang penting dalam kehidupan sehari-hari. Akan tetapi senyawa kimia jika tidak ditangani dengan baik, senyawa kimia juga dapat memiliki efek berbahaya. Untuk menjaga keselamatan dan kesehatan manusia dan lingkungan, diperlukan pengaturan dan pengendalian penggunaan senyawa kimia yang tepat.

5.2 Jenis Senyawa Kimia

Senyawa kimia adalah zat kimia murni yang terdiri dari dua atau beberapa unsur yang dapat dipecah-pecah lagi menjadi unsur-unsur pembentuknya dengan reaksi kimia. Beberapa jenis senyawa kimia yang perlu diketahui antara lain senyawa organik, senyawa anorganik, senyawa ionik, senyawa kovalen, senyawa logam, senyawa kompleks, senyawa hidrida, senyawa aromatik, senyawa polimer dan senyawa kompleks organometalik (Schlager, *et al.* 2006).

5.2.1 Senyawa Organik

Senyawa organik adalah senyawa yang molekulnya tersusun atas karbon, kecuali karbida, karbonat, dan oksida karbon. Senyawa organik dapat diperoleh dari makhluk hidup dan dapat pula berasal dari beberapa hasil sintetis. Contoh senyawa organik antara lain asam amino, karbohidrat, protein, dan lemak.

5.2.2 Senyawa Anorganik

Senyawa anorganik adalah senyawa yang tidak mengandung karbon dalam struktur molekulnya. Senyawa anorganik dapat diperoleh langsung dari alam ataupun melalui hasil sintetis laboratorium. Contoh senyawa anorganik yang umum adalah air (H_2O), natrium klorida (NaCl), asam sulfat (H_2SO_4), dan karbon dioksida (CO_2) (PSIBERG. 2022).

5.2.3 Senyawa Ionik

Ikatan elektrovalen antara ion positif dan negatif menghasilkan senyawa ionik. Senyawa ionik sering memiliki titik leleh dan titik didih yang tinggi dan umumnya merupakan padatan kristal. Magnesium oksida (MgO) dan natrium klorida (NaCl) adalah contoh senyawa ionik.

5.2.4 Senyawa Kovalen

Senyawa kovalen terbentuk dari ikatan kovalen antara atom-atom yang saling berbagi pasangan elektron. Senyawa kovalen umumnya berupa gas, cair, atau padatan lunak. Contoh senyawa kovalen antara lain air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2).

5.2.5 Senyawa Logam

Senyawa logam terbentuk dari ikatan logam antara atom-atom logam yang saling berbagi elektron. Senyawa logam memiliki sifat yang mirip dengan senyawa ionik umumnya berupa padatan kristal dengan titik lebur dan titik didih yang tinggi. Contoh senyawa logam antara lain besi sulfida (FeS) dan tembaga sulfat (CuSO_4).

5.2.6 Senyawa Kompleks

Senyawa kompleks, juga dikenal sebagai senyawa koordinasi, adalah molekul yang terdiri dari atom logam pusat atau ion yang terikat pada ligan, yaitu atom, ion, atau molekul yang menyumbangkan elektron ke logam. Contoh senyawa kompleks antara lain hemoglobin dan klorofil.

5.2.7 Senyawa Hidrida

Senyawa hidrida adalah senyawa yang mengandung atom hidrogen yang terikat pada unsur lain, biasanya logam atau bukan logam. Senyawa ini memainkan peran penting dalam berbagai bidang, termasuk ilmu material, katalisis, dan penyimpanan hidrogen. Contoh senyawa hidrida antara lain amonia (NH_3) dan metana (CH_4) (Salman, *et al.* 2022).

5.2.8 Senyawa Aromatik

Senyawa aromatik adalah jenis senyawa organik yang mengandung susunan atom siklik dengan ikatan rangkap bolak-balik, yang dikenal sebagai cincin aromatik. Istilah "aromatik"

awalnya mengacu pada bau yang kuat dan menyenangkan dari beberapa senyawa ini, tetapi sekarang digunakan untuk menggambarkan struktur dan reaktivitas elektroniknya yang unik. Contoh senyawa aromatik antara lain benzena dan toluene (Lumen Learning. 2018)

5.2.9 Senyawa Polimer

Senyawa polimer terbentuk dari subunit berulang yang disebut monomer, yang dihubungkan bersama melalui ikatan kovalen untuk membentuk rantai panjang. Istilah "polimer" berasal dari kata Yunani "poly" yang berarti "banyak" dan "mer" yang berarti "bagian", yang mencerminkan banyak unit berulang yang membentuk molekul. Polimer bisa diperoleh secara alami atau sintesis laboratorium. Contoh senyawa polimer antara lain plastik dan karet (Byju's. 2019).

5.2.10 Senyawa Kompleks Organometalik

Senyawa kompleks organometalik: Senyawa kompleks organometalik terbentuk dari ikatan antara ion logam dengan molekul organik. Senyawa kompleks organometalik umumnya berupa senyawa berwarna dengan sifat-sifat khusus. Contoh senyawa kompleks organometalik antara lain ferrosen dan vitamin B12.

5.3 Sifat-Sifat Senyawa Kimia

Senyawa kimia adalah zat yang tersusun dari dua unsur atau lebih yang terikat secara kimiawi. Senyawa kimia memiliki sifat unik yang membedakannya dari zat lain. Sifat-sifat ini dapat dikategorikan menjadi sifat fisik dan kimia. Sifat fisik adalah sifat yang dapat diamati atau diukur tanpa mengubah komposisi zat, seperti suhu, titik didih, titik beku, indeks bias, dan kerapatan. Sifat kimia, di sisi lain, menggambarkan kemampuan karakteristik suatu zat untuk bereaksi membentuk zat baru. Contoh sifat kimia

termasuk reaktivitas, stabilitas kimia, toksisitas, kalor pembakaran dan kelarutan.

5.3.1 Sifat Fisik

Berikut adalah beberapa sifat senyawa kimia yang termasuk dalam sifat fisika:

1. Suhu

Suhu merupakan sifat dasar yang dapat mempengaruhi perilaku senyawa kimia. Suhu dapat mempengaruhi stabilitas, reaktivitas, dan transisi fase senyawa kimia. Saat suhu naik, senyawa dapat mengalami perubahan seperti peleburan, penguapan, atau dekomposisi. Sebaliknya, Saat suhu turun dapat menyebabkan pembekuan atau pemadatan.

2. Titik didih

Titik didih adalah suhu di mana suatu senyawa berubah dari fase cair menjadi fase gas. Titik didih dapat mempengaruhi sifat-sifat senyawa seperti kelarutan dan reaktivitas. Titik didih merupakan parameter penting dalam berbagai aplikasi, seperti proses penyulingan dan pemurnian senyawa kimia. Senyawa yang berbeda memiliki titik didih yang berbeda. Pengetahuan akan titik didih ini memungkinkan pemisahan senyawa kimia yang satu dengan yang lainnya.

3. Titik beku

Titik beku adalah suhu di mana suatu senyawa berubah dari fase cair menjadi fase padat. Seperti halnya Titik didih, Titik beku juga dapat mempengaruhi sifat-sifat senyawa seperti kelarutan dan reaktivitas. Titik beku ini adalah faktor kunci dalam menentukan kondisi penyimpanan dan penanganan zat atau senyawa kimia. Titik beku dapat bervariasi tergantung pada komposisi dan kemurnian senyawa.

4. Indeks bias

Indeks bias, sifat optik yang menarik, Indeks bias adalah ukuran dari kemampuan suatu senyawa untuk membelokkan cahaya. Indeks bias dapat mempengaruhi sifat-sifat senyawa seperti transparansi dan kecerahan. Indeks bias dapat memberikan wawasan berharga tentang komposisi dan struktur senyawa kimia, Selain itu indeks bias ini yang menjadikan senyawa kimia dapat dijadikan alat yang berharga dalam seperti optik dan ilmu material.

5. Kerapatan

Kerapatan adalah ukuran dari massa suatu senyawa per satuan volume. Kerapatan dapat mempengaruhi sifat-sifat senyawa seperti kelarutan dan reaktivitas.

5.3.2 Sifat Kimia

Berikut adalah beberapa sifat senyawa kimia yang termasuk dalam sifat kimia:

1. Reaktivitas

Reaktivitas adalah menggambarkan seberapa mudah suatu zat bereaksi dengan zat lain untuk membentuk senyawa baru. Reaktivitas dapat mempengaruhi sifat-sifat senyawa seperti kestabilan dan toksisitas. Reaktivitas merupakan ukuran kemampuan zat untuk mengalami perubahan kimia dan berpartisipasi dalam reaksi kimia. Beberapa senyawa menunjukkan reaktivitas tinggi, mudah terlibat dalam reaksi dan transformasi, sementara yang lain tetap relatif inert dan menunjukkan reaktivitas yang rendah.

2. Stabilitas kimia

Stabilitas kimia adalah kemampuan suatu senyawa untuk bertahan dalam kondisi tertentu tanpa mengalami perubahan kimia. Stabilitas kimia merupakan ukuran kecenderungan zat untuk tetap tidak berubah dalam berbagai kondisi. Senyawa dengan stabilitas kimia tinggi

lebih kecil kemungkinannya untuk mengalami dekomposisi atau bereaksi dengan zat lain, sedangkan senyawa dengan stabilitas rendah lebih rentan terhadap degradasi atau reaktivitas.

3. Toksisitas

Toksisitas adalah kemampuan suatu senyawa untuk menyebabkan kerusakan pada organisme hidup atau menggambarkan efek berbahaya suatu zat pada organisme hidup. Toksisitas adalah ukuran kemampuan zat untuk menyebabkan kerusakan atau reaksi merugikan saat terpapar pada sistem biologis. Beberapa senyawa menunjukkan toksisitas tinggi, menimbulkan risiko yang signifikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, sementara yang lain relatif tidak beracun. Jadi sangat penting untuk menganalisis atau mengetahui apakah suatu senyawa kimia memiliki sifat toksik atau tidak.

4. Kalor pembakaran

Kalor pembakaran adalah energi yang dilepaskan ketika suatu senyawa mengalami pembakaran sempurna dengan oksigen. Kalor pembakaran merupakan ukuran potensi senyawa untuk melepaskan panas dan energi melalui reaksi pembakaran. Senyawa dengan kalor pembakaran yang tinggi dapat menjadi sumber energi yang berharga, sedangkan senyawa dengan kalor pembakaran yang rendah mungkin memiliki potensi penghasil energi yang terbatas.

5. Kelarutan

Kelarutan adalah kemampuan suatu senyawa untuk larut dalam pelarut tertentu. Kelarutan merupakan ukuran kemampuan zat untuk membentuk campuran homogen dengan pelarut. Senyawa dengan kelarutan tinggi mudah larut dalam pelarut, sedangkan yang memiliki kelarutan rendah mungkin menunjukkan kelarutan yang terbatas atau tidak sama sekali.

5.4 Penamaan Senyawa Kimia

Penamaan senyawa kimia memungkinkan identifikasi dan komunikasi komposisi dan struktur senyawa ini. Penamaan senyawa kimia mengikuti seperangkat aturan yang ditetapkan oleh *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)* (Leigh, G. J., 2011). Aturan ini memberikan metode standar untuk penamaan senyawa, memastikan bahwa nama tersebut konsisten dan tidak ambigu atau tidak berubah-ubah.

Penamaan senyawa kimia didasarkan pada komposisi senyawa, yang ditentukan oleh unsur-unsur yang ada dan perbandingan relatifnya. Langkah pertama dalam penamaan suatu senyawa adalah mengidentifikasi jenis senyawa, yang dapat berupa senyawa ionik atau kovalen. Senyawa ionik terdiri dari logam dan bukan logam, sedangkan senyawa kovalen terdiri dari dua atau lebih bukan logam (Leigh, G. J., 2011).

Penamaan senyawa ion mengikuti seperangkat aturan yang melibatkan penggunaan nama kation dan anion. Kation diberi nama terlebih dahulu, diikuti oleh anion, dengan akhiran "-ida" ditambahkan di akhir nama anion (Leigh, G. J., 2011). Misalnya, NaCl diberi nama Natrium Klorida, sedangkan CaO diberi nama Kalsium Oksida.

Penamaan senyawa kovalen melibatkan penggunaan awalan untuk menunjukkan jumlah atom dari setiap unsur yang ada dalam senyawa (Leigh, G. J., 2011). Awalan "mono-" digunakan untuk unsur pertama hanya jika terdapat lebih dari satu atom dari unsur tersebut. Misalnya, CO diberi nama Karbon Monoksida, sedangkan CO₂ diberi nama Karbon Dioksida.

Selain aturan IUPAC, ada juga nama umum untuk beberapa senyawa yang banyak digunakan dalam industri dan kehidupan sehari-hari. Misalnya, H₂O biasa disebut air, sedangkan NH₃ biasa disebut amonia (Leigh, G. J., 2011).

Penamaan senyawa kimia adalah aspek penting kimia yang memungkinkan identifikasi dan komunikasi komposisi dan struktur

senyawa ini. Aturan IUPAC menyediakan metode standar untuk penamaan senyawa, memastikan bahwa nama tersebut konsisten dan tidak ambigu. Dengan mengikuti aturan ini, ahli kimia dapat berkomunikasi secara efektif dan akurat tentang sifat dan perilaku senyawa kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aysu, T., & Küçük, M. M. 2014. Biomass pyrolysis in a fixed-bed reactor: Effects of pyrolysis parameters on product yields and characterization of products. *Energy*, 64, 1002-1025.
- Byju's. 2019. Polymers - Classification, Types, Uses, Properties and Polymerization. <https://byjus.com/jee/polymers/>
- Leigh, G. J. (Ed.). 2011. *Principles of chemical nomenclature: a guide to IUPAC recommendations*. Royal Society of Chemistry.
- Lumen Learning. 2018. Aromaticity. <https://courses.lumenlearning.com/suny-potsdam-organicchemistry2/chapter/13-4-aromaticity/>
- Matthews, G. 2015. *Pesticides: health, safety and the environment*. John Wiley & Sons.
- Neil Schlager, Jayne Weisblatt, and David E. Newton. 2006. Chemical Compounds, Thomson Gale, China
- PSIBERG. 2022, September 14. Organic vs. Inorganic Compounds: The Main Differences. <https://psiberg.com/organic-vs-inorganic-compounds/>
- Salman, M. S., Lai, Q., Luo, X., Prathana, C., Rambhujun, N., Costalin, M., Wang, T., Sapkota, P., Liu, W., Grahame, A., Tupe, J. & Aguey-Zinsou, K. F. 2022. The power of multifunctional metal hydrides: A key enabler beyond hydrogen storage. *Journal of Alloys and Compounds*, 920, 165936.
- Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M., & Imboden, D. M. 2016. *Environmental organic chemistry*. John Wiley & Sons.
- Stoker, H. S. 2015. *General, organic, and biological chemistry*. Cengage Learning.
- Utelbayev, B. T., Suleimenov, E. N., Utelbayeva, A., & Zhanabai, N. 2013. Some Concepts about Substance, Chemical compound and an Element. *American Chemical Science Journal*, 4(2), 166-173.

BAB 6

TERMOKIMIA

Oleh Hestina

6.1 Pendahuluan

Ketika reaksi kimia terjadi, biasanya reaksi disertai dengan perubahan energi. Perubahan energi yang menyertai reaksi kimia tersebut dapat memiliki bentuk yang berbeda - beda. Misalnya, perubahan energi yang terlibat dalam pembakaran bahan bakar seperti minyak tanah, batu bara, kayu, gas alam, dll, mengambil bentuk panas dan cahaya. Energi listrik dari reaksi kimia dalam baterai. Pembentukan glukosa, $C_6H_{12}O_6$ oleh proses fotosintesis membutuhkan penyerapan energi cahaya dari matahari. Dengan demikian, kita melihat bahwa perubahan energi yang menyertai reaksi kimia dapat mengambil bentuk energi yang bermacam macam . Dalam bab ini, akan dipelajari reaksi-reaksi kimia yang membebaskan panas dan yang menyerap panas.

6.2 Istilah-Istilah Dalam Termokimia

Dalam pelajaran ini akan dijumpai beberapa istilah yang sering digunakan.

1. Sistem

Sistem adalah bagian dari alam semesta yang sedang diamati atau dipelajari. Contoh : Bila kita sedang mengamati reaksi antara larutan NaCl dengan larutan $AgNO_3$ dalam suatu tabung reaksi, maka reaksi NaCl dengan $AgNO_3$ adalah sistem sedang tabung reaksi dan ruangan dimana pengamatan dilakukan disebut dengan lingkungan

2. Lingkungan

Bagian alam semesta selain sistem yang diamati atau dipelajari disebut dengan lingkungan

3. Sistem Terisolasi.

Sistem terisolasi adalah sistem yang tidak ada pertukaran panas dan materi antara sistem dan lingkungan. Sebagai contoh air panas (kita menyebutnya sistem) disimpan dalam termos tersumbat dan suhunya tetap dalam beberapa jam. Jika termos ini terbuat dari bahan isolasi yang sempurna, maka tidak akan ada pertukaran materi dan energi antara sistem dan lingkungan dan suhunya tidak akan berubah selama lamanya. Sistem yang demikian disebut sistem terisolasi.

4. Sistem Tertutup

Sistem tertutup adalah sistem yang dapat bertukar energi atau materi dengan lingkungan. Sebagai contoh, jika air panas disimpan dalam botol stainless tertutup rapat, maka air itu akan menjadi dingin setelah beberapa waktu. Energi (panas) akan hilang ke lingkungan melalui dinding botol, namun karena tertutup, materi tidak akan keluar, sistem ini disebut sistem tertutup.

5. Sistem Terbuka

Sistem terbuka adalah sistem yang dapat bertukar energi dan materi dengan lingkungan. Jika air panas disimpan dalam botol termos terbuka, materi bersama dengan energi akan hilang karena penguapan. Sistem yang demikian disebut sistem terbuka. Tumbuhan, hewan, manusia merupakan contoh dari sistem terbuka, karena mereka terus menerus bertukar materi (makanan, dll) dan energi dengan lingkungan.

6.3 Keadaan Sistem

Keadaan dari suatu sistem digambarkan dari sifat-sifat terukurnya. Sebagai contoh, keadaan gas digambarkan dengan menentukan tekanan, volume, suhu dll, sifat-sifat ini disebut dengan variabel keadaan atau fungsi keadaan. Harga-harga ini

hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir dari sistem dan bukan pada jalan yang diambil oleh sistem selama perubahan, kita bisa memahami fungsi keadaan dengan memberikan contoh lain, jika kita melakukan perjalanan dari satu kota A ke kota B, maka jarak yang ditempuh pada jalan atau rute yang kita ambil. Mungkin bisa lebih dari satu jalan atau rute yang bisa ditempuh, tapi sebenarnya jarak (garis lurus) antara kota A dan kota B sudah tertentu. Dengan demikian jarak antara kota A dan kota B adalah suatu fungsi keadaan, bukan jalan atau rute yang ditempuh.

6.4 Sifat-Sifat Sistem

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, sifat-sifat terukur dari suatu sistem disebut variabel keadaan atau fungsi keadaan. Sifat sistem dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu,

1. Sifat-sifat ekstensif

Sifat ekstensif adalah suatu sifat yang nilainya tergantung pada ukuran sistem, misalnya, volume, berat, panas, dll

2. Sifat-sifat Intensif

Sifat intensif adalah suatu sifat yang nilainya tidak bergantung dari ukuran sistem, misalnya, suhu, tekanan, indeks bias, viskositas, densitas, tegangan permukaan, dll.

Sifat-sifat ekstensif dapat menjadi properti yang intensif, misalnya, massa dan volume yang merupakan sifat ekstensif, tapi kerapatan (massa per satuan volume) dan volume spesifik (volume per satuan massa) adalah properti intensif.

6.5 Jenis-Jenis Proses

Apa yang dimaksud dengan proses? Misalkan kita ingin menaikkan suhu suatu sistem, kita mungkin melakukan dengan memanaskannya. Di sini, pemanasan adalah proses, metode atau cara melakukan suatu perubahan keadaan suatu sistem disebut proses. Jenis-jenis proses seperti berikut ini.

6.5.1 Proses Isotermal

Es meleleh pada 273 K dan tekanan 1 atm, suhu tidak berubah selama proses pelelehan berlangsung. Proses tersebut adalah contoh proses isotermal, kita dapat mendefinisikan proses isotermal sebagai berikut: bila suhu suatu sistem tetap konstan selama berlangsungnya operasi, maka proses dikatakan isothermal. Ini dicapai dengan cara mengambil panas dari sistem atau dengan memberi panas ke sistem.

6.5.2 Proses Adiabatis

Jika asam direaksikan dengan basa dalam termos tertutup, maka panas yang dilepaskan tertahan dalam sistem. Proses ini dikenal sebagai proses adiabatik karena tidak memungkinkan terjadinya pertukaran panas antara sistem dan lingkungan. Proses adiabatik dapat didefinisikan sebagai berikut.

Dalam proses adiabatik tidak ada pertukaran panas antara sistem dan lingkungan. Dengan demikian, dalam proses adiabatik selalu ada perubahan temperatur.

6.5.3 Proses Reversibel

Dalam proses reversibel, keadaan awal dan keadaan akhir dihubungkan melalui suksesi keadaan equilibrium. Semua perubahan yang terjadi dalam setiap bagian dari proses persis dibalik bila dilakukan dalam arah yang berlawanan. Dengan demikian kedua sistem dan lingkungannya harus dikembalikan persis dengan keadaan awalnya, ketika proses telah dilakukan dan kemudian dibalik.

Mari kita memahaminya dengan contoh, bayangkan suatu cairan yang setimbang dengan uapnya dalam suatu wadah silinder tertutup oleh piston, dan ditempatkan dalam sebuah bak dengan suhu konstan sebagai ditunjukkan pada gambar. Jika tekanan eksternal pada piston meningkat dengan jumlah yang amat kecil, uap akan mengembun, tapi pengembunan akan terjadi sangat

lambat sehingga panas yang dibebaskan akan diambil oleh suhu bak. Suhu sistem tidak akan naik, dan tekanan di atas cairan ini akan tetap konstan. Meskipun kondensasi uap tersebut berlangsung, sistem pada setiap saat berada dalam keadaan keseimbangan. Jika tekanan eksternal dibuat hanya lebih kecil dari tekanan uap, cairan akan menguap sangat lambat, lagi suhu dan tekanan akan tetap konstan. Proses reversibel adalah proses yang mana perubahan yang terjadi sangat lambat sehingga sistem dan lingkungan selalu dalam keadaan setimbang.

6.5.4 Proses Irreversibel

Dalam contoh di atas, penguapan atau pengembunan yang cepat dengan penurunan atau peningkatan tekanan eksternal yang tiba-tiba, akan menyebabkan ketidakseragaman suhu dan tekanan dalam sistem sehingga keseimbangan akan terganggu. Proses seperti ini disebut sebagai proses ireversibel.

6.6 Keadaan Standar

Sudah dijelaskan bahwa sistem digambarkan oleh variabel keadaan. Untuk membandingkan energi senyawa-senyawa yang berbeda, dipilih satu set standar kondisi. Hal ini mengacu pada kondisi tekanan 1 bar pada temperatur tertentu, dengan zat dalam bentuk paling stabil.

6.7 Reaksi Eksotermik Dan Endotermik

1. Tambahkan beberapa beberapa mL asam klorida encer ke dalam tabung reaksi yang berisi beberapa potong seng dan amati pembebasan gas yang terjadi, rasakan tabung reaksi, tabung reaksi akan terasa panas.
2. Bila air ditambahkan ke serbuk kapur, banyak panas yang dilepaskan.
3. Ketika bahan bakar seperti gas LPG atau batubara dibakar di udara, selain cahaya juga panas dibebaskan. Banyak

reaksi kimia melepaskan energi (panas) ke lingkungan. Kita menyebut jenis reaksi reaksi yang demikian sebagai reaksi eksotermis. Reaksi eksotermis adalah reaksi-reaksi yang berlangsung dengan pelepasan panas.

Sekarang perhatikan reaksi reaksi berikut :

1. Tambahkan sejumlah kecil ammonium klorida padat ke dalam tabung reaksi yang berisi air setengahnya, kocok dan rasakan tabung reaksi, tabung reaksi akan terasa dingin.
2. Secara sama, ulangi percobaan dengan kalium nitrat dan rasakan tabung reaksi, tabung akan terasi dingin.
3. Campur barium hidroksida dengan ammonium chloride dalam sedikit air dalam tabung reaksi, pegang tabung reaksi dan akan terasa dingin.

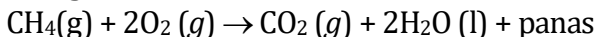
Semua proses diatas menyerap panas dari lingkungan dan reaksi-reaksi yang demikian disebut reaksi endoterm. Reaksi endoterm adalah reaksi reaksi yang berlangsung dengan menyerap panas dari lingkungan.

6.8 Persamaan Reaksi Termokimia

Anda sudah familiar dengan persamaan reaksi kimia. Sekarang kita akan menulis persamaan reaksi kimia dengan merinci perubahan energi dan perubahan keadaan reaktan dan produk. Reaksi reaksi ini disebut persamaan termokimia . Untuk penulisan persamaan termokimia kita mengikuti konvensi sebagai berikut.

1. Panas yang dibebaskan atau yang diserap pada reaksi dipengaruhi keadaan fisik dari zat zat yang bereaksi. Karena itu gas, cairan dan padatan dinyatakan dengan simbol (g), (l), dan (s) disamping rumus kimia masing masing.

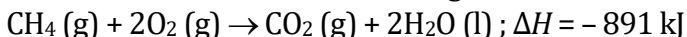
Sebagai contoh:



Dalam penulisan reaksi termokimia, kita menulis jumlah panas yang dilepaskan atau yang diserap dengan simbol ΔH . Jumlah panas yang dibebaskan atau yang diserap ditulis sesudah persamaan yang diikuti dengan semicolon. ΔH adalah negatif untuk reaksi eksoterm dan positif untuk reaksi endoterm.

Contoh:

Suatu reaksi eksoterm ditulis sebagai berikut



Sedangkan reaksi endotern ditulis sebagai berikut



2. Dalam hal unsur- unsur yang mempunyai allotropy, nama allotropi disebutkan. Sebagai contoh C (grafit), C (diamond), dsb.
3. Zat dalam larutan digunakan dengan simbol (aq). Sebagai contoh NaCl (aq) berarti larutan natrium klorida.
4. Persamaan reaksi termokimia dapat diseimbangkan dengan koefisien reaksi pecahan bila diperlukan. Koefisien reaksi menunjukkan jumlah mol zat yang terlibat dalam reaksi dan harga ΔH sesuai dengan jumlah mol zat yang bereaksi.
5. Bila koefisien reaksi dikali atau dibagi dengan suatu faktor, maka ΔH juga harus dikali atau dibagi dengan faktor yang sama. Sebagai contoh.



Bila koefisien dikali dengan 2, maka persamaan menjadi $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) ; \Delta H = 2 (- 242) = - 484 \text{ kJ}$

6.9 Hukum Termodinamika Pertama

Sudah dipahami bahwa reaksi kimia selalu disertai dengan perubahan energi. Bagaimana kita menentukan perubahan energi ini? Kita tidak dapat menciptakan energi atau merusak energi. Energi hanya berubah dari satu bentuk ke bentuk lain. Ini adalah pengamatan para ahli selama bertahun-tahun. Pengamatan ini dirumuskan dalam hukum pertama termodinamika. Hukum pertama termodinamika dapat dinyatakan sebagai berikut : Energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan. Total energi alam semesta atau sistem terisolasi adalah konstan.

Secara matematis hukum pertama termodinamika dinyatakan sebagai:

$$U = q + w \quad (1.1)$$

ΔU = perubahan energi dalam , q = panas yang diserap oleh sistem, dan w = kerja yang dilakukan pada sistem.

6.9.1 Energi Dalam (U)

Setiap sistem memiliki jumlah energi yang pasti. Jumlah ini berbeda untuk zat yang berbeda. Energi dalam termasuk energi translasi, vibrasi, rotasi molekul, elektron dan inti. Energi dalam dapat didefinisikan sebagai jumlah energi dari semua atom, molekul atau ion yang terdapat dalam sistem. Energi dalam adalah variabel keadaan. Tidak mungkin untuk mengukur nilai absolut dari energi dalam tetapi kita dapat menghitung perubahannya. Jika energi dalam sistem pada keadaan awal U_1 dan dalam keadaan akhir U_2 , maka perubahan energi dalam (ΔU) tidak bergantung pada jalur yang dilalui dari awal ke keadaan akhir. Kita bisa menulis perubahan ini sebagai:

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad (1.2)$$

Energi dalam sistem dapat diubah dengan dua cara:

1. Memasukkan panas ke sistem atau mengambil panas dari sistem

2. Dengan melakukan kerja pada sistem atau sistem melakukan kerja

6.9.2 Panas (q) dan Kerja (w)

Panas dan kerja bukan merupakan fungsi keadaan, hal ini karena nilai-nilai q dan w bergantung pada cara bagaimana perubahan itu dilakukan, karena hukum berkaitan dengan transfer panas dan kerja, maka akan ditetapkan tanda untuk w dan q. Segala sesuatu yang meningkatkan energi dalam suatu sistem diberi tanda positif. Panas yang diberikan ke sistem (q) dan kerja yang dilakukan pada sistem (w) diberikan tanda positif.

Sebagai contoh, jika suatu perubahan disertai dengan penyerapan 50 kJ panas dan pengeluaran 30 kJ kerja, maka $q = + 50$ kJ dan $w = - 30$ kJ

Perubahan energi dalam $\Delta U = (+ 50 \text{ kJ}) + (- 30 \text{ kJ}) = + 20 \text{ kJ}$

Dengan demikian sistem telah mengalami kenaikan bersih energi dalam $+ 20$ kJ.

Perubahan energi dalam dari lingkungan menjadi $- 20$ kJ.

6.9.3 Kerja Ekspansi

Andaikan tekanan p tetap dan volume sistem berubah dari V_1 ke V_2 . Kerja yang dilakukan oleh sistem adalah

$$w = - p (V_2 - V_1) = - p \Delta V \quad (1.3)$$

(Disini diberi tanda minus karena kerja dilakukan pada sistem).

Substitusi persamaan (1.3) ke persamaan (1.1) diperoleh

$$\Delta U = q - p \Delta V \quad (1.4)$$

Bila proses berlangsung pada volume tetap, maka $\Delta V = 0$, jadi

$$\Delta = q_v \quad (1.5)$$

Masukkan v dalam q_v menandakan bahwa volume tetap

Persamaan 1.5 menunjukkan bahwa kita dapat menentukan energi dalam bila kita mengukur panas yang diperoleh atau panas yang hilang dari sistem pada volume tetap. Namun demikian,

reaksi kimia umumnya berlangsung pada tekanan tetap (tekanan atmosfer).

6.9.4 Entalpi

Untuk mengukur panas yang dilepas atau yang diserap pada tekanan tetap, kita mendefinisikan fungsi keadaan baru yang disebut entalpi, entalpi diberi simbol H

$$H = U + p V \quad (1.6)$$

Perubahan entalpi, ΔH , adalah

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pV) \quad (1.7)$$

Atau

$$\Delta H = \Delta U + p \Delta V + V \Delta p \quad (1.8)$$

Jika perubahan dilakukan pada tekanan tetap, maka $\Delta p = 0$. Persamaan (1.8) akan menjadi

$$\Delta H = \Delta U + p \Delta V \text{ (pada tekanan tetap)} \quad (1.9)$$

Substitusi ΔU dari persamaan (1.4) ke persamaan (1.9), diperoleh

$$\Delta H = q - p \Delta V + p \Delta V = q \text{ (pada tekanan tetap)} \quad (1.10)$$

Kita menuliskan q pada tekanan tetap dengan q_p , jadi

$$\Delta H = q_p \quad (1.11)$$

Ini menunjukkan bahwa dengan mengukur panas yang dibebaskan atau yang diserap pada tekanan tetap kita dapat mengukur perubahan entalpi pada suatu proses.

6.10 Hubungan Antara ΔH dan ΔU

Untuk zat cair dan zat padat, perbedaan antara ΔH dengan ΔU tidak signifikan, akan tetapi untuk gas perbedaan ini signifikan seperti terlihat di bawah ini.

V_A = total volume reaktan, V_B = total volume produk
 n_A = jumlah mol reaktan, dan n_B = jumlah mol produk pada suhu dan tekanan tetap.

Kemudian, menggunakan persamaan gas ideal, dapat ditulis,

$$p V_A = n_A RT \quad (1.12)$$

$$p V_B = n_B RT \quad (1.13)$$

Pengurangan persamaan (1.13) dengan persamaan (1.12) diperoleh

$$p V_B - p V_A = n_B RT - n_A RT = (n_B - n_A) RT \quad (1.14)$$

$$p (V_B - V_A) = p \Delta V = \Delta n g RT \quad (1.15)$$

Pada tekanan tetap, $\Delta H = \Delta U + p \Delta V$.(persamaan 1.9) Karena itu, ΔH menjadi

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n g RT \quad (1.16)$$

$\Delta n g$ = (jumlah mol produk) - (jumlah mol reaktan) dalam keadaan gas.

Dengan demikian kita dapat menghitung harga ΔH dari ΔU atau sebaliknya.

Untuk zat padat dan zat cair perubahan volum (ΔV) sangat kecil, sehingga kita dapat menghilangkan istilah $p \Delta V$ pada persamaan (1.9). Jadi ΔH hampir sama dengan ΔU atau ($\Delta H \approx \Delta U$).

Soal

1. Dari soal-soal berikut ini yang salah adalah
 - a. Reaksi $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g) + 185 \text{ kJ}$ adalah reaksi endoterm.
 - b. Perubahan entalpi adalah fungsi keadaan.
 - c. Keadaan standar suatu sistem gas adalah tekanan 1 atm pada suhu tertentu.
2. Untuk reaksi pada 298 K,

$$\frac{1}{2} N_2(g) + \frac{3}{2} H_2(g) \rightarrow NH_3(g) ; \Delta H = - 46 \text{ kJ}$$
 - a. Berapa harga $\Delta n g$?
 - b. Hitung harga ΔU pada 298 K

6.11 Entalpi Standar Reaksi

Jika total entalpi reaktant adalah H_{reaktan} dan total entalpi product adalah H_{produk} Perbedaan antara entalpi entalpi ini adalah , ΔH ,

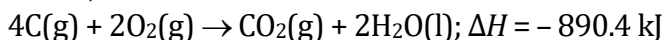
$$\Delta H = H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}} \quad (1.17)$$

Bila H_{product} lebih besar dari H_{reactant} maka ΔH adalah positif dan panas diserap dalam reaksi, dan reaksi akan menjadi endoterm Sebagai contoh ,



Bila H_{produk} lebih kecil dari H_{reaktan} maka harga ΔH adalah negatif dan panas dibebaskan pada reaksi dan reaksi eksotermis.

Sebagai contoh,



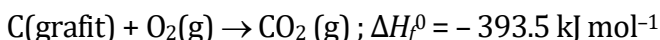
Entalpi reaksi berubah bila tekanan dan suhu berubah, hal ini lebih mudah untuk menyatakan entalpi reaksi dalam keadaan standar seperti yang telah didefinisikan sebelumnya. Bila zat dalam standar, kita sebut entalpi reaksi sebagai entalpi standar, perubahan entalpi standar reaksi didefinisikan apabila reaktan dan produk dalam keadaan standar. Perubahan entalpi reaksi standar ini disimbolkan dengan ΔH^0 .

6.11.1 Entalpi Pembentukan (ΔH_f^0)

Perubahan entalpi yang terjadi bila satu mol zat murni dibentuk dari unsur unsurnya dalam bentuk paling stabil disebut entalpi pembentukan dan dinyatakan dengan ΔH_f^0

Bila unsur-unsur yang bereaksi dan produk yang terbentuk seluruhnya dalam keadaan standar, maka perubahan entalpi yang menyertai reaksi kimia disebut entalpi pembentukan standar dan ditulis dengan ΔH_f^0 . Dengan konvensi kita mengambil entalpi pembentukan standar dari sebuah unsur dalam keadaan paling stabil

Contoh:

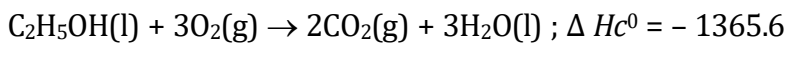


Ini berarti bahwa karbon dioksida terbentuk dari unsur-unsurnya.

6.11.2 Entalpi Pembakaran (ΔH_c°)

Entalpi pembakaran adalah perubahan entalpi (panas yang dilepaskan) yang pada pembakaran sempurna 1 mol zat dengan oksigen pada suhu tertentu dan tekanan 1 atmosfer.

Contoh:

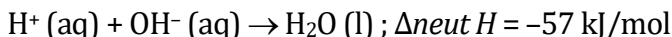


Entalpi pembakaran $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ adalah $-1365.6 \text{ kJ mol}^{-1}$

6.11.3 Entalpi Netralisasi ($\Delta H_{\text{net}}^\circ$)

Entalpi netralisasi adalah perubahan entalpi (panas yang dilepas) bila 1 mol ion hidrogen (H^+) dinetralkan oleh 1 mol ion hidroksil (OH^-) dalam larutan encer untuk membentuk air.

Sebagai contoh:



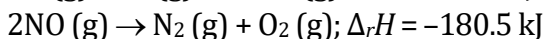
Entalpi netralisasi dari asam kuat dengan basa kuat selalu tetap yaitu -57 kJ . Akan tetapi entalpi netralisasi asam kuat dengan basa lemah atau asam lemah dengan basa kuat akan berbeda karena variasi derajat ionisasi asam lemah dan basa lemah.

6.12 Hukum Termokimia

Ada dua hukum termokimia, yaitu hukum Lavoisier-Laplace dan hukum Hess.

6.12.1 Hukum Lavoisier-Laplace

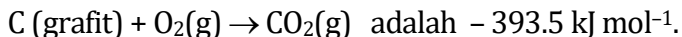
Menurut hukum ini, bila persamaan reaksi dibalik, maka tanda ΔH akan berubah tanda. Sebagai contoh,



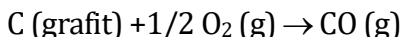
6.12.2 Hukum Hess

Hukum Hess menyatakan bahwa entalpi reaksi tidak bergantung jumlah tahap dan sifat intermediate reaksi.

Sudah diketahui bahwa perubahan entalpi standar reaksi



Harga ini dapat ditentukan dengan kalorimeter. Akan tetapi, ada beberapa reaksi yang perubahan entalpinya tidak dapat diukur langsung dalam laboratorium, sebagai contoh perubahan entalpi standar reaksi,

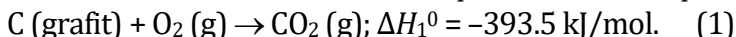


Entalpi reaksi ini tidak dapat ditentukan dengan kalorimeter karena pembakaran karbon tidak sempurna kecuali dalam oksigen berlebih. Bila digunakan oksigen berlebih, sebagian gas CO dioksidasi menjadi CO_2 . Bagaimana kita dapat menentukan perubahan entalpi untuk reaksi yang demikian bila pengukuran langsung tidak memungkinkan?

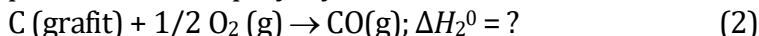
Karena ΔH adalah fungsi keadaan, maka tidak bergantung pada cara reaksi berlangsung.

Perhatikan reaksi berikut:

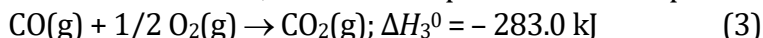
1. Pada reaksi berikut, ΔH_1^0 adalah perubahan entalpi reaksi.



2. Reaksi berikut adalah reaksi yang akan ditentukan perubahan entalpinya, yaitu ΔH_2^0



3. Pada Reaksi berikut, ΔH_3^0 adalah perubahan entalpi reaksi



Kita dapat memperoleh $\text{CO}_2(\text{g})$ dari karbon dan oksigen melalui dua cara, yaitu cara pertama tahap (1) dan cara kedua dengan menjumlahkan tahap (2) + (3)

Menurut hukum Hess

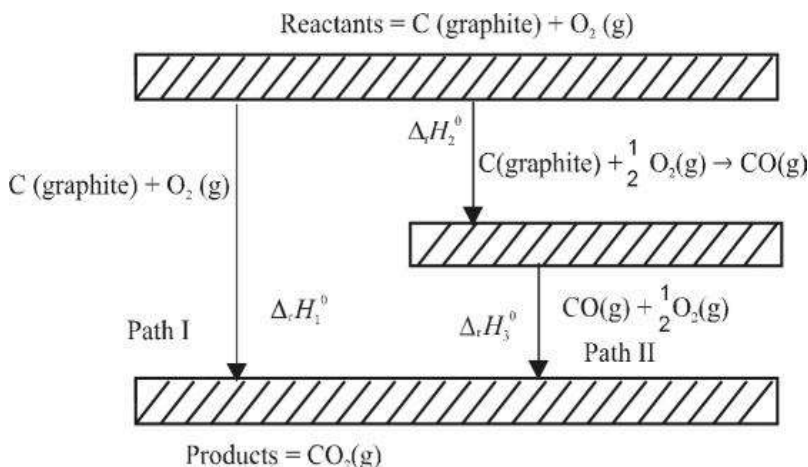
$$\Delta H_1^0 = \Delta H_2^0 + \Delta H_3^0$$

atau

$$\Delta H_2^0 = \Delta H_1^0 - \Delta H_3^0$$

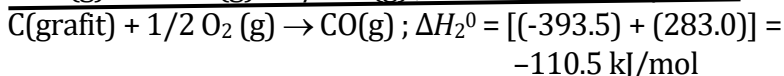
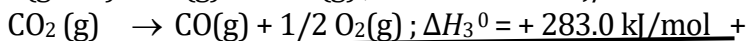
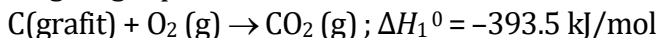
Hukum Hess menyatakan bahwa persamaan termokimia dapat ditambahkan dan dikurangkan, seperti halnya persamaan aljabar untuk memperoleh reaksi yang diinginkan.

Gambar berikut adalah skema yang menunjukkan perubahan karbon dan oksigen menjadi karbon dioksida



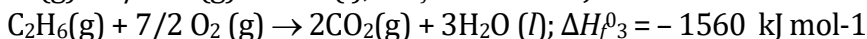
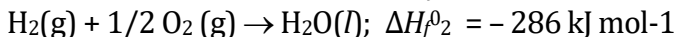
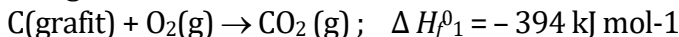
Gambar 6.1. Jalur alternatif konversi karbon dan oksigen menjadi karbon dioksida

Aplikasi praktis dari hukum Hess adalah bahwa kita dapat menghitung perubahan entalpi reaksi yang tidak dapat ditentukan secara langsung seperti reaksi diatas.

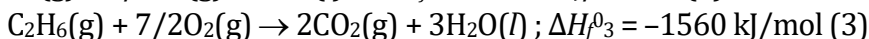
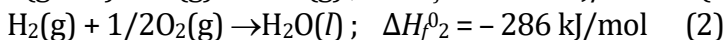
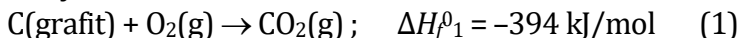


Contoh

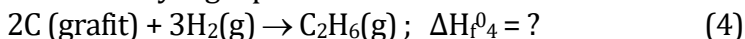
Hitunglah entalpi pembentukan standar etana. Diberikan data sebagai berikut:



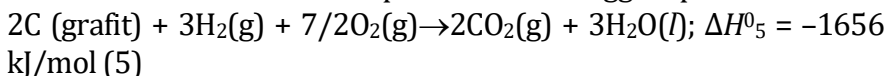
Penyelesaian :



Persamaan yang diperlukan adalah

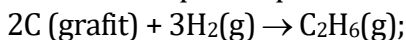


Untuk memperoleh persamaaan (4) ini, persamaan (1) dikalikan dengan 2 dan persamaan (2) dikali dengan 3 dan kemudian tambahkan kedua persamaan sehingga diperoleh



(dimana $\Delta H^0 = 2\Delta H^0_1 + 3\Delta H^0_2 = 2 \times (-394) + 3 \times (-286) = -1656 \text{ kJ/mol}$)

Persamaan (3) dibalik dan dijumlahkan dengan persamaan (5) untuk mendapatkan persamaan (4)



Dimana $\Delta H_f^0(\text{etana}) = -1656 - (-1560) = -96 \text{ kJ/mol}$

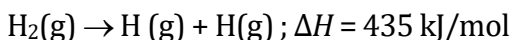
Jadi. entalpi pembentukan standar etana adalah -96 kJ/mol

6.13 Energi Ikatan

Pada reaksi kimia, energi dapat diserap atau dibebaskan, dari mana asal dari energi ini? Kita sudah mengetahui bahwa pada reaksi kimia terjadi pemutusan ikatan dan pembentukan ikatan baru. Perubahan energi terjadi pada saat pemutusan ikatan pada reaktan dan pembentukan ikatan pada produk. Sehingga

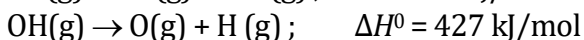
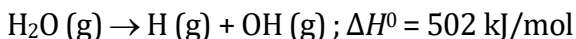
perubahan energi pada reaksi kimia adalah merupakan hasil perubahan energi pada pemutusan dan pembentukan ikatan kimia.

Mari kita perhatikan reaksi gas, karena dalam hal ini, kita menemukan perubahan energi hanya karena pemutusan dan pembentukan ikatan kimia. Pada suhu tinggi, molekul hidrogen berdisosiasi menjadi atom-atom hidrogen.



Panas yang diserap dalam reaksi ini digunakan untuk memutuskan ikatan kimia yang mengikat atom-atom hidrogen dalam molekul H_2 . Untuk sebuah molekul diatomik seperti $\text{H}_2(\text{g})$, kita mendefinisikan energi disosiasi ikatan sebagai perubahan entalpi reaksi di mana satu mol molekul gas diuraikan menjadi atom-atom dalam wujud gas.

Sekarang, mari kita perhatikan sebuah molekul poliatomik seperti $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$. Disosiasi adalah berupa fragmentasi suatu molekul menjadi radikal, seperti dalam reaksi berikut :

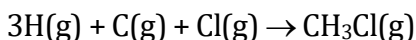


Dalam reaksi pertama, salah satu dari dua ikatan OH dalam $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ didisosiasi dengan perubahan entalpi 502 kJ/mol dan reaksi kedua, ikatan OH didisosiasi dengan perubahan entalpi dari 427 kJ/mol. Jelas bahwa energi disosiasi dari ikatan O-H sensitif terhadap lingkungannya. Namun, perbedaannya tidak terlalu besar. Kami mengambil nilai rata-rata (464,5 kJ/mol dalam hal ini) dalam kasus molekul poliatomik dan menyebutnya entalpi ikatan.

Entalpi ikatan didefinisikan sebagai jumlah rata-rata perubahan entalpi yang terlibat dalam pemutusan satu mol ikatan yang ada pada senyawa gas yang berbeda. Sekarang anda sudah

mengetahu perbedaan antara entalpi dissosiasi ikatan dengan entalpi ikatan. Entalpi dissosiasi ikatan merujuk pada pemutusan suatu ikatan tertentu dalam molekul tertentu sedangkan entalpi ikatan adalah harga rata rata energi dissosiasi ikatan untuk jenis ikatan tertentu

Entalpi ikatan beberapa ikatan diperlihatkan pada tabel 6.1, dengan menggunakan entalpi ikatan itu memungkinkan untuk memperkirakan energi yang dibebaskan bila suatu molekul gas dibentuk dari atom-atom gas nya. Sebagai contoh, energi yang dibebaskan pada tekanan tetap untuk reaksi ($\Delta_r H$),



Adalah jumlah energi tiga ikatan C – H, dan satu ikatan C – Cl, seluruhnya tanda negatif karena energi dibebaskan. Menggunakan harga entalpi ikatan (B.E.) dari table 1 kita memperoleh,

$$\begin{aligned}\Delta H &= - \{3 \times \text{B.E. (C – H)} + \text{B.E. (C – Cl)}\} \\ &= - (3 \times 415) - (335) \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= (-1245 - 335) \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= -1574 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

Sekarang akan ditunjukkan cara menggunakan data entalpi ikatan untuk memperkirakan entalpi reaksi bila data kalorimeter langsung tidak tersedia. Pada prinsipnya, data entalpi ikatan dapat dipakai untuk menghitung ΔH untuk suatu reaksi kimia yang terjadi pada keadaan gas dengan menghitung selisih energi yang diserap pada pemutusan ikatan reaktan dan energi yang dibebaskan pada pembentukan ikatan produk

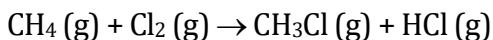
$$\Delta H = \Delta \text{B.E. (reaktan)} - \Delta \text{B.E. (produk)} \quad (1.18)$$

Tabel 6.1. Entalpi Ikatan Rata Rata

Ikatan	Entalpi Ikatan/(kJ mol⁻¹)
H - H	435
C - H	415
C - Br	284
C - C	356
C = C	598
Br - Br	193
Cl - Cl	242
C - Cl	339
F - F	155
H - Cl	431
H - O	462
H - N	390
H - F	563
H - Br	366
H - I	296
C - O	355
C = O	723
C - N	391
C = N	619
C $\equiv$ N	878

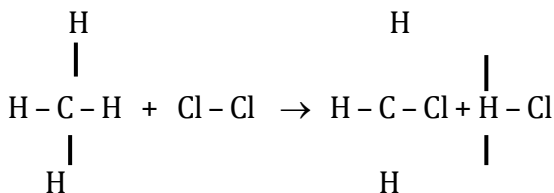
Contoh:

Gunakan data entalpi ikatan pada tabel. 1 untuk menghitung entalpi reaksi berikut

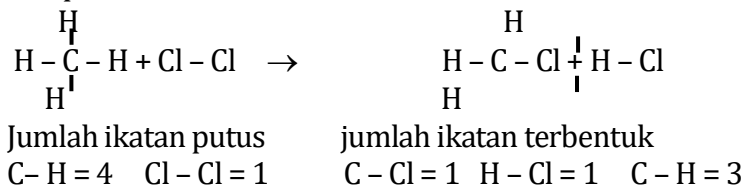


Penyelesaian:

3. 1. Tuliskan persamaan menggunakan rumus struktur (structural formula)



2. Tuliskan jumlah ikatan yang putus dan yang terbentuk dibawah persamaan reaksi



3. Lihat harga-harga entalpi ikatan dari tabel I

Reaktan	Produk
B.E. (C - H) = 435 kJ mol ⁻¹	B.E. (Cl - C) = 339 kJ mol ⁻¹
B.E. (Cl - Cl) = 242 kJ mol ⁻¹	B.E. (H - Cl) = 431 kJ mol ⁻¹
	B.E. (C - H) = 435 kJ/mol

4. Gunakan persamaan 1.18

Entalpi reaksi

$$\Delta H = \Sigma \text{B.E. (reaktan)} - \Sigma \text{B.E. (produk)}$$

$$= 4[\text{B.E. (C - H)}] + \text{B.E. (C - Cl)} - [\text{B.E. (C - Cl)} + \text{B.E. (H - Cl)} + 3 \text{B.E. (C - H)}]$$

$$= [4 \times 435 + 242] - [339 + 431 + 3 \times 435] = -93 \text{ kJ}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Chang, Raymond. 2003. *General Chemistry: The Essential Concepts*. Third Edition. Boston: Mc Graw-Hill.
- Goldberg, David E. 2004. *Fundamentals of Chemistry*. Fourth Edition. New York The McGraw – Hill Companies, Inc.
- Heyworth, Rex. 1990. *Chemistry A New Approach*. Hongkong: Macmillan Publishers (HK) Limited.
- Hill, John W. , and Kolb, Doris K. 1998. *Chemistry for Changing Times*. Eighth Edition. London: Prentice Hall International (UK) Limited.
- Hill, John W. , Baum, Stuart J. , Feigl, Dorothy M. 1997. *Chemistry and Life*. Fifth Edition. London: Prentice Hall International (UK) Limited.
- Kelter, Paul B. , Carr, James D. , and Scott, Andrew. 2003. *Chemistry A World of Choices*. Boston: Mc Graw Hill.
- Moore, John W, Stanitski and Jurs, Peter C. 2005. *Chemistry The Molecular Science*. Second Edition. United States: Thomson Learning, Inc.
- Stanitski, Conrad L., Et all. 2003. *Chemistry In Context: Applying Chemistry to Society*. Boston: Mc Graw Hill.
- Winstrom, Cheryl, Phillips, John, Strozak, Victor. 1997. *Chemistry: Concepts and Application Students Edition*. New York: GLENCOE McGraw-Hill

BAB 7

KESETIMBANGAN KIMIA

Oleh Herlina Rahim

7.1 Pendahuluan

Kesetimbangan kimia berkaitan dengan sejauh mana reaksi kimia berlangsung. Diamati bahwa, di sebagian besar reaksi kimia, reaktan tidak sepenuhnya diubah menjadi produk. Reaksi berlangsung sampai batas tertentu dan mencapai keadaan di mana konsentrasi reaktan dan produk tetap konstan dengan waktu. Keadaan ini umumnya disebut sebagai keadaan kesetimbangan.

Kesetimbangan kimia adalah keadaan suatu sistem di mana konsentrasi reaktan dan konsentrasi produk tidak berubah dari waktu ke waktu dan sifat sistem tidak berubah. Sistem mencapai kesetimbangan kimia ketika laju reaksi maju sama dengan laju reaksi balik. Dalam kesetimbangan kimia, laju reaksi maju sama dengan laju reaksi mundur. Jadi ini mengacu pada keadaan suatu sistem di mana reaktan dan konsentrasi produk tidak berfluktuasi dari waktu ke waktu. Setelah itu, parameter sistem tidak akan lagi bervariasi, dan akan menjadi konstan. Sistem ini dianggap berada dalam keadaan kesetimbangan dinamis ketika konsentrasi reaktan dan produk tidak bervariasi karena tingkat reaksi maju dan mundur yang sama.

Kesetimbangan kimia terjadi ketika jumlah reaktan dan produk dalam suatu reaksi tetap tidak berubah. Ini berarti bahwa suatu reaksi mungkin tidak berlanjut sampai selesai. Lingkungan akan mempengaruhi kesetimbangan suatu reaksi.

Reaksi dapat bersifat ireversibel dan reversibel. Ada dua jenis sistem:

1. Buka sistem- sistem di mana energi dan materi dapat dipertukarkan dengan lingkungan.
2. Sistem tertutup - sistem di mana hanya energi yang dapat dipertukarkan dengan lingkungan.

Reaksi kesetimbangan adalah reaksi di mana ada reaksi maju dan mundur yang terjadi pada waktu yang bersamaan. Reaksi akan mencapai keseimbangan - berada pada kesetimbangan.

Dalam reaksi ini, tidak hanya konversi reaktan menjadi produk terjadi, tetapi juga konversi produk menjadi reaktan dimungkinkan. Reaksi ini dikenal sebagai reaksi reversibel. Mereka mencapai keadaan kesetimbangan di mana jumlah spesies reaktan yang diubah menjadi produk menjadi sama dengan jumlah spesies produk yang diubah menjadi reaktan pada waktu tertentu yaitu, laju reaksi maju menjadi sama dengan laju reaksi mundur. Itulah sebabnya pada kesetimbangan, tidak ada perubahan yang dapat diamati dalam konsentrasi reaktan dan produk. Reaksi dikatakan terhenti dan tidak ada konversi lebih lanjut dari reaktan yang mungkin terjadi pada kondisi tertentu.

Kesetimbangan kimia berkaitan dengan reaksi reversibel ini, yang mencapai keadaan setimbang. Ruang lingkup kesetimbangan kimia meliputi studi tentang karakteristik dan faktor-faktor yang mempengaruhi kesetimbangan kimia.

7.2 Konsep Dasar Kesetimbangan Kimia

Kesetimbangan kimia adalah keadaan reaksi kimia ketika konsentrasi produk dan reaktan tidak berubah dari waktu ke waktu. Dengan kata lain, laju reaksi maju sama dengan laju reaksi mundur. Kesetimbangan kimia disebut juga kesetimbangan dinamis.

Asumsi reaksi kimia:

$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$, dengan k_1 adalah tetapan reaksi maju dan k_2 adalah tetapan reaksi balik

Laju reaksi maju dapat dihitung dengan:

$$\text{laju} = -k_1[A]^a [B]^b = k_2[C]^c [D]^d$$

Ketika konsentrasi bersih A, B, C, dan D berada pada kesetimbangan, maka lajunya adalah 0. Menurut prinsip Le Chatelier, setiap perubahan suhu, tekanan, atau konsentrasi akan menggeser kesetimbangan untuk menghasilkan lebih banyak reaktan atau produk. Jika ada katalis, itu menurunkan energi aktivasi, yang menyebabkan sistem mencapai kesetimbangan lebih cepat. Katalis tidak menggeser kesetimbangan (Chambers, 1995).

Jika volume campuran kesetimbangan gas berkurang, reaksi akan berlanjut ke arah yang membentuk lebih sedikit mol gas.

Jika volume campuran kesetimbangan gas meningkat, reaksi berlangsung ke arah yang menghasilkan lebih banyak mol gas.

Jika gas inert ditambahkan ke campuran gas volume konstan, tekanan total meningkat, tekanan parsial komponen tetap sama dan kesetimbangan tetap tidak berubah.

Peningkatan suhu campuran kesetimbangan menggeser kesetimbangan ke arah reaksi endoterm.

Penurunan suhu campuran kesetimbangan menggeser kesetimbangan untuk mendukung reaksi eksotermik.

7.3 Hukum Aksi Massa

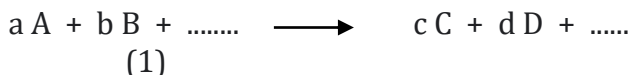
Reaksi kimia tidak ada yang berlangsung seratus persen, artinya walaupun dibiarkan dalam waktu yang cukup lama masih saja ada sisa reaktan yang belum bereaksi, walaupun sisa reaktan itu mungkin amat sedikit. Hal itu terjadi karena adanya reaksi ke

arah sebaliknya yaitu ke kiri yang menghasilkan perubahan produk menjadi reaktan.

Pada saat reaksi baru saja mulai laju reaksi berlangsung dengan cepat, karena konsentrasi reaktan masih banyak, kemudian semakin lama semakin lambat seiring dengan berkurangnya konsentrasi reaktan. Sementara itu konsentrasi produk semakin lama semakin cepat.

Pada suatu saat laju reaksi ke kanan sama cepatnya dengan laju reaksi ke kiri sehingga konsentrasi zat-zat tidak berubah sebab laju bereaksinya sesuatu zat sama cepatnya dengan laju pembentukan zat itu.

Keadaan demikian dinamakan setimbang. Jadi pada keadaan setimbang laju reaksi ke kanan sama cepatnya dengan laju reaksi ke kiri. Secara umum reaksi kimia dapat ditulis sebagai berikut:



Menurut (Blandamer, 1992) Pada tahun 1866, Guldberg dan Waage berdasarkan percobaannya berhasil menunjukkan bahwa pada keadaan setimbang berlaku,

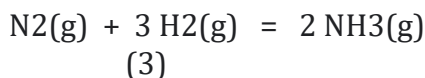
$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

(2)

K merupakan suatu tetapan dan dinamakan tetapan kesetimbangan. Hubungan antara tetapan kesetimbangan dengan konsentrasi itu dinamakan Hukum Aksi Massa, yang dinyatakan dengan persamaan (2). Ruas kanan persamaan itu dinamakan kuosien konsentrasi dan disingkat Q. Jadi Q akan sama dengan K hanya bila reaksi telah berada dalam keadaan setimbang. Apabila Q

> K maka pembilang pada persamaan (2) terlalu besar, atau konsentrasi zat C dan D terlalu besar. Tentu saja keadaan tidak setimbang, dan untuk mencapai keadaan setimbang maka reaksi (1) didorong ke kiri sehingga konsentrasi C dan D berkurang sedangkan konsentrasi A dan B bertambah. Pergeseran reaksi ke kiri akan berhenti bila telah tercapai kembali keadaan setimbang, yaitu bila $Q = K$.

Bagi reaksi kesetimbangan yang menyangkut gas, misalnya pada pembuatan amoniak dari nitrogen dan hidrogen, tetapan kesetimbangan dapat dinyatakan dengan dua cara, yaitu K_c yang dihitung berdasarkan konsentrasi dan K_p yang dihitung berdasarkan tekanan parsial gas (P) (Butler, 1991).



$$K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} \quad \text{dan} \quad K_p = \frac{[\text{PNH}_3]^2}{[\text{PN}_2] \times [\text{PH}_2]^3}$$

(4)

Tetapan kesetimbangan, K_p maupun K_c , selain ditentukan besarnya oleh macam zat-zat yang terlibat dalam reaksi juga dipengaruhi oleh suhu.

7.4 Kesetimbangan dalam Proses Fisik

Jenis keseimbangan yang berkembang antara fase yang berbeda dan tidak ada perubahan dalam komposisi kimia. Dalam keseimbangan fisik, ada keberadaan zat yang sama dikeadaan fisik yang berbeda (Rubinson, 2007).

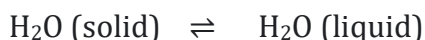
1. Kesetimbangan padat-cair

Es dan air disimpan dalam termos terisolasi sempurna (tidak ada pertukaran panas antara isinya dan sekitarnya)

pada 273K dan tekanan atmosfer dalam keadaan setimbang dan sistem menunjukkan fitur karakteristik yang menarik. Hasil pengamatan bahwa massa es dan air tidak berubah terhadap waktu dan suhu tetap konstan. Namun, kesetimbangan tidak statis, hal ini dapat dilihat pada batas antara es dan air. Molekul dari air cair bertabrakan dengan es dan menempel padanya dan beberapa molekul es lepas ke fase cair. Tidak ada perubahan massa es dan air, karena laju transfer molekul dari es ke air dan transfer balik dari air ke es sama dengan tekanan atmosfer dan 273 K.

Jelas bahwa es dan air berada dalam kesetimbangan hanya pada suhu dan tekanan tertentu. Untuk zat murni apa pun pada tekanan atmosfer, suhu di mana fase padat dan cair berada pada kesetimbangan disebut titik leleh normal atau titik beku normal zat tersebut. Sistem di sini berada dalam kesetimbangan dinamis dan kita dapat menyimpulkan sebagai berikut:

- a) Kedua proses yang berlawanan terjadi secara bersamaan.
- b) Kedua proses terjadi dengan laju yang sama sehingga jumlah es dan air tetap konstan



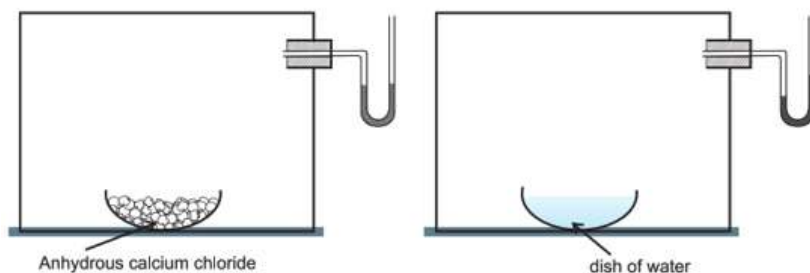
Tingkat transfer es sama dengan tingkat pembekuan air.

2. Kesetimbangan cair-uap

Kesetimbangan ini dapat dipahami dengan mempertimbangkan contoh kotak transparan yang membawa tabung-U dengan air raksa (manometer). Zat pengering seperti kalsium klorida anhidrat (atau fosfor penta-oksida) ditempatkan selama beberapa jam di dalam kotak. Setelah menghilangkan zat pengering dengan memiringkan kotak di satu sisi, kaca arloji (atau cawan

petri) yang berisi air dengan cepat ditempatkan di dalam kotak. Terlihat bahwa kadar air raksa di kaki kanan manometer perlahan-lahan meningkat dan akhirnya mencapai nilai konstan, yaitu tekanan di dalam kotak meningkat dan mencapai nilai konstan. Volume air dalam kaca arloji juga berkurang (Gambar 7.1). Awalnya tidak ada uap air (atau sangat sedikit) di dalam kotak. Saat air menguap, tekanan di dalam kotak meningkat karena penambahan molekul air ke dalam fase gas di dalam kotak. Tingkat penguapan konstan, namun laju peningkatan tekanan berkurang seiring waktu karena kondensasi uap menjadi air. Akhirnya mengarah ke kondisi *annequilibrium* ketika tidak ada penguapan bersih.

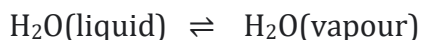
Ini menandakan bahwa jumlah molekul air dari keadaan gas ke keadaan cair juga meningkat hingga kesetimbangan tercapai yaitu,



Gambar 7.1. Pengukuran kesetimbangan tekanan uap air pada temperature konstan

(<https://chem.libretexts.org/>, 2023)

Laju penguapan = laju kondensasi



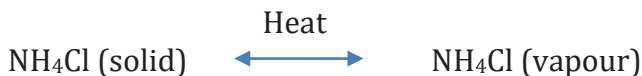
Pada kesetimbangan tekanan yang diberikan oleh molekul air pada suhu tertentu tetap konstan dan disebut tekanan uap kesetimbangan air (atau hanya tekanan uap air); tekanan uap air meningkat dengan suhu. Jika percobaan di atas diulang dengan metil alkohol, aseton dan eter, diamati bahwa cairan yang berbeda memiliki tekanan uap kesetimbangan yang berbeda pada suhu yang sama, dan cairan yang memiliki tekanan uap yang lebih tinggi lebih mudah menguap dan memiliki titik didih yang lebih rendah.

Kondisi yang diperlukan untuk kesetimbangan cair-uap:

- a. Sistem harus merupakan sistem tertutup
- b. Sistem harus konstan suhu.
- c. Sifat-sifat yang terlihat dari sistem seharusnya tidak berubah dengan waktu.

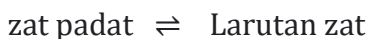
3. Kesetimbangan padat-uap

Zat padat tertentu pada pemanasan didapat diubah langsung menjadi uap tanpa melewati fase cair. Proses ini disebut sublimasi. Uap ketika dingin, terbentuk kembali padatan, disebut pengendapan atau desublimasi atau sublimasi.



4. Kesetimbangan antara padatan dan larutannya

Jika zat terlarut padat bersentuhan dengan solusi jenuh, terbentuk dinamis kesetimbangan antara padatan dan fase larutan.



5. Keseimbangan antara gas & cair

Saat botol air soda dibuka, sebagian gas karbon dioksida yang terlarut di dalamnya akan keluar dengan cepat. Fenomena tersebut muncul karena perbedaan kelarutan karbon dioksida pada tekanan yang berbeda. Ada keseimbangan antara molekul dalam keadaan gas dan molekul terlarut dalam cairan di bawah tekanan yaitu,



Menurut (Nevers, 2012), Keseimbangan ini sesuai Hukum Henry, yang menyatakan bahwa massa gas yang terlarut dalam massa pelarut tertentu pada suhu berapa pun sebanding dengan tekanan gas di atas pelarut. Jumlah ini berkurang dengan meningkatnya suhu. Botol air soda disegel di bawah tekanan gas saat kelarutannya dalam air tinggi. Setelah botol dibuka, sebagian gas karbon dioksida terlarut keluar untuk mencapai kondisi keseimbangan baru yang diperlukan untuk tekanan yang lebih rendah, yaitu tekanan parsialnya di atmosfer. Faktor yang kelarutan berpengaruh pada gas dalam cairan adalah :

- Sifat gas dan cairan.
- Suhu dari cairan.
- Tekanan (P) gas di atas permukaan larutan.

Tabel 7.1. Beberapa karakteristik dari keseimbangan fisik

o	Proses	Kesimpulan
1	Cair $\longleftrightarrow$ Uap $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longleftrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$p_{\text{H}_2\text{O}}$ konstan pada temperatur tertentu
2	Padat $\longleftrightarrow$ Cair $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \longleftrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	Titik leleh tetap pada tekanan konstan
3	Zat terlarut(s) $\longleftrightarrow$ Zat	Konsentrasi dari zat

o	Proses	Kesimpulan
	terlarut(aq) Gula(s) $\longleftrightarrow$ Gula(aq)	terlarut pada larutan konstan pada temperatur tertentu
4	Gas(g) $\longleftrightarrow$ Gas(aq) CO ₂ (g) $\longleftrightarrow$ CO ₂ (aq)	[gas(aq)]/[gas(g)] konstan pada temperatur [CO ₂ (aq)]/[CO ₂ (g)] konstan pada temperatur tertentu

Sumber: <https://www.britannica.com/science/chemical-equilibrium>

Dari semua pembahasan di atas, untuk proses fisik yang dibahas di atas, karakteristik berikut adalah umum untuk sistem pada kesetimbangan (Soustelle, 2015):

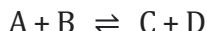
1. Kesetimbangan hanya dimungkinkan dalam sistem tertutup pada suhu tertentu.
2. Kedua proses yang berlawanan terjadi pada tingkat yang sama dan ada kondisi yang dinamis namun stabil.
3. Semua parameter terukur tetap konstan dari sistem.
4. Ketika kesetimbangan dicapai untuk proses fisik, itu ditandai dengan nilai konstan dari salah satu parameternya pada suhu tertentu.
5. Besarnya kuantitas tersebut pada setiap tahap menunjukkan sejauh mana proses fisik telah berlangsung sebelum mencapai kesetimbangan.

7.5 Kesetimbangan dalam Proses Kimia

Menurut (de Nevers, 2012), reaksi-reaksi ini dapat terjadi baik dalam arah maju maupun mundur. Ketika laju reaksi maju dan mundur menjadi sama, konsentrasi reaktan dan produk tetap konstan. Ini adalah tahap kesetimbangan kimia. Kesetimbangan ini

bersifat dinamis karena terdiri dari reaksi maju dimana reaktan menghasilkan produk dan reaksi balik di mana produk membentuk reaktan kembali.

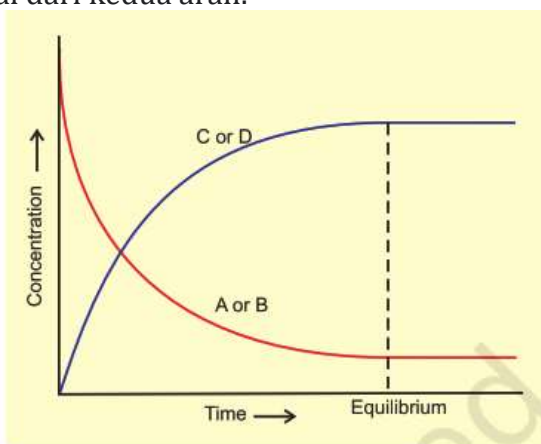
Untuk pemahaman yang lebih baik, mari kita pertimbangkan kasus umum reaksi reversibel,



Sejalan dengan waktu, ada akumulasi produk C dan D dan pengurangan reaktan A dan B (Gambar 7.2). Hal ini menyebabkan penurunan laju reaksi maju dan peningkatan laju reaksi balik,

Akhirnya, dua reaksi terjadi pada tingkat yang sama dan sistem mencapai keadaan kesetimbangan.

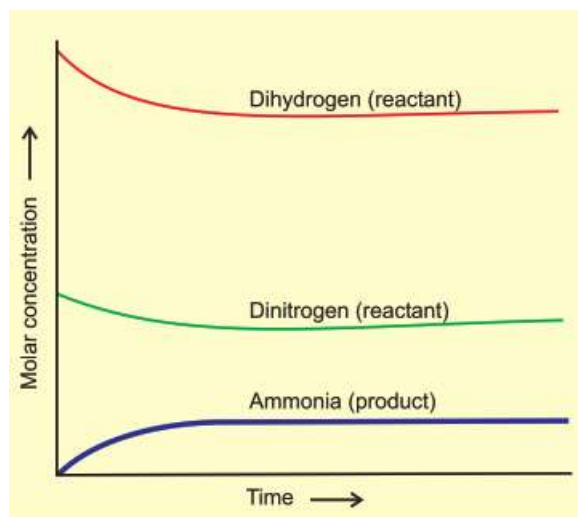
Demikian pula, reaksi dapat mencapai keadaan kesetimbangan bahkan jika kita mulai dengan hanya C dan D; yaitu, tidak ada A dan B pada awalnya, karena keseimbangan dapat dicapai dari kedua arah.



Gambar 7.2. Pencapaian Kesetimbangan Kimia
(<https://chem.libretexts.org/>, 2023)

Akhirnya, kedua reaksi terjadi pada laju yang sama dan sistem mencapai keadaan setimbang. Demikian pula, reaksi dapat mencapai keadaan kesetimbangan bahkan jika kita mulai hanya dengan C dan D; yang, pada awalnya tidak ada A dan B, karena kesetimbangan dapat dicapai dari kedua arah.

Sifat dinamis dari kesetimbangan kimia dapat ditunjukkan dalam sintesis amonia dengan proses Haber. Dalam serangkaian percobaan, Haber memulai dengan mengetahui jumlah dinitrogen dan dihidrogen yang dipertahankan pada suhu dan tekanan tinggi dan secara berkala dengan menentukan jumlah amonia yang ada. Beliau juga berhasil menentukan konsentrasi dihidrogen dan dinitrogen yang tidak bereaksi. Gambar 3 menunjukkan bahwa setelah waktu tertentu komposisi campuran tetap sama meskipun beberapa reaktan masih ada. Komposisi ini menunjukkan bahwa reaksi telah mencapai kesetimbangan. Untuk memahami sifat dinamis dari reaksi, sintesis amonia dilakukan dengan kondisi awal yang persis sama (tekanan dan suhu parsial) tetapi menggunakan D_2 (deuterium) sebagai pengganti H_2 . Campuran reaksi yang dimulai dengan H_2 atau D_2 mencapai kesetimbangan dengan komposisi yang sama, kecuali bahwa D_2 dan ND_3 sebagai pengganti H_2 dan NH_3 . Setelah keduanya bercampur, kesetimbangan akan tercapai (de Nevers, 2012).



Gambar 7.3. Gambaran Kesetimbangan Reaksi
 ((<https://chem.libretexts.org/>, 2023)

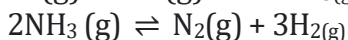
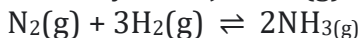
$$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$$

(H_2 , N_2 , NH_3 dan D_2 , N_2 , ND_3) dicampur bersama dan dibiarkan sebentar. Kemudian, ketika campuran ini dianalisis, ditemukan bahwa konsentrasi amonia sama seperti sebelumnya. Namun, ketika campuran ini dianalisis dengan spektrometer massa, ditemukan bahwa amonia dan semua bentuk amonia yang mengandung deuterium (NH_3 , NH_2D , NHD_2 dan ND_3) dan dihidrogen dan bentuk deuteriasinya (H_2 , HD dan D_2) ada. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengacakan atom H dan D dalam molekul harus dihasilkan dari kelanjutan reaksi maju dan mundur dalam campuran. Jika reaksi hanya berhenti ketika mereka mencapai kesetimbangan, maka tidak akan ada pencampuran isotop dengan cara ini (Hermans, 2014).

Penggunaan isotop (deuterium) dalam pembentukan amonia jelas menunjukkan bahwa reaksi kimia mencapai

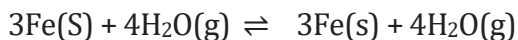
keadaan kesetimbangan dinamis dimana laju reaksi maju dan mundur sama dan tidak ada perubahan bersih dalam komposisi.

Kesetimbangan dapat dicapai dari kedua sisi, apakah kita memulai reaksi dengan mengambil, $\text{H}_2(\text{g})$ dan $\text{N}_2(\text{g})$ dan mendapatkan $\text{NH}_3(\text{g})$ atau dengan mengambil $\text{NH}_3(\text{g})$ dan menguraikannya menjadi $\text{N}_2(\text{g})$ dan $\text{H}_2(\text{g})$.

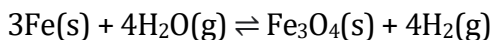


Demikian pula mari kita perhatikan reaksinya, $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$. Jika kita mulai dengan konsentrasi awal H_2 dan I_2 yang sama, reaksi berlangsung dalam arah maju dan konsentrasi H_2 dan I_2 menurun sementara HI meningkat, sampai semuanya menjadi konstan pada kesetimbangan. Kita juga bisa mulai dengan HI saja dan membuat reaksi untuk melanjutkan ke arah sebaliknya; konsentrasi HI akan menurun dan konsentrasi H_2 dan I_2 akan meningkat sampai semuanya menjadi konstan ketika kesetimbangan tercapai. Jika jumlah total atom H dan I sama dalam volume tertentu, campuran kesetimbangan yang sama diperoleh walaupun kita memulainya dari reaktan murni atau produk murni (Hermans, 2014).

Dalam kesetimbangan kimia, konsentrasi dari reaktan dan produk tidak berubah dengan waktu dan sistem tidak menunjukkan lebih jauh perubahan sifat. Dalam kasus kesetimbangan kimia, laju maju reaksi menjadi sama dengan laju mundur reaksi. yaitu Laju (reaksi maju) = Laju (reaksi mundur). Seperti contoh Reaksi maju dibawah ini:



Jika tabung wadah tertutup, kedua reaksi berlangsung secara bersamaan dan karenanya reaksi menjadi reversibel.



Beberapa fitur karakteristik penting dari kesetimbangan dinamis diberikan di bawah ini (Hermans, 2014):

1. Kesetimbangan hanya dapat dicapai dalam sistem tertutup (di mana zat tidak dapat keluar atau masuk).
2. Pada keadaan setimbang, reaksi tidak berhenti. reaksi maju dan mundur terus berlangsung dengan laju yang sama tetapi berlawanan arah.
3. Pada keadaan setimbang, jumlah (konsentrasi) reaktan dan produk tidak berubah. Bahkan sifat fisik seperti warna, kerapatan, dll tetap sama.
4. Keadaan kesetimbangan dapat dicapai dari kedua arah, yaitu mulai dari reaktan atau dari produk.
5. keadaan kesetimbangan dapat diganggu dan dicapai kembali di bawah kondisi konsentrasi, tekanan dan suhu tertentu.

7.6 Jenis-jenis Kesetimbangan Kimia

Keadaan kesetimbangan kimia terjadi ketika laju reaksi maju dan mundur sama. Ketika reaksi kimia berada dalam kesetimbangan, konsentrasi reaktan dan produk konstan atau tidak cenderung berfluktuasi dari waktu ke waktu. Berdasarkan keadaan reaktan dan produk pada kesetimbangan, kesetimbangan kimia dapat dibagi menjadi dua jenis: kesetimbangan homogen dan kesetimbangan heterogen

Karakteristik Keadaan Kesetimbangan dapat diketahui bila sesuai dengan pernyataan di bawah ini:

1. Suatu reaksi (atau proses) dikatakan dalam kesetimbangan jika tingkat reaksi maju (proses) menjadi sama dengan laju reaksi mundur (proses).

2. Keseimbangan bersifat dinamis dan tidak statis yaitu, bahkan setelah keseimbangan tercapai, awal dan akhir reaksi berlangsung tetapi dengan kecepatan yang sama.
3. Keseimbangan kimia dapat ditentukan hanya jika tidak ada produk lain yang terbentuk.
4. Pada keseimbangan, konsentrasi masing-masing dari reaktan dan produk menjadi konstan.
5. Jika reaksi mencapai keseimbangan pada titik tertentu temperatur dan tekanan, $\Delta G = 0$
6. Keseimbangan kimia dapat dicapai dari salah satu arah.

7.6.1 Keseimbangan Homogen

Reaksi di mana fase semua produk dan reaktan adalah sama. Sebagai contoh- semua produk dan reaktan adalah gas atau semua produk dan reaktan adalah cairan. Reaksi keseimbangan adalah reaksi di mana reaksi dapat dibalik dan diteruskan dan konsentrasi reaktan dan produk tetap sama.

Laju reaksi berbanding lurus dengan produk dari massa aktif reaktan, Setiap suku dipangkatkan sama dengan koefisien stoikiometrinya seperti yang diwakili oleh persamaan kimia yang seimbang.

Keseimbangan homogen didefinisikan sebagai campuran homogen (reaktan dan produk dalam larutan tunggal) dalam satu fase. Ingat, reaktan berada di sisi kiri persamaan dan produk berada di sisi kanan persamaan. Oleh karena itu, reaksi yang terjadi antara zat terlarut milik keseimbangan homogen tunggal. Keseimbangan heterogen, di sisi lain, dapat didefinisikan sebagai sistem reaksi di mana produk dan reaktan ditemukan dalam dua fase atau lebih (Storey, 2011).

Konsentrasi keseimbangan, untuk reaksi yang melibatkan gas, dinyatakan dalam tekanan parsial. dengan menggunakan persamaan gas ideal,

$$PV = nRT \quad (5)$$

P dan V di sini adalah tekanan dan volume sistem masing-masing
 Jumlah mol komponen yang ada dinyatakan sebagai n
 R adalah untuk konstanta gas universal
 T adalah untuk suhu

$$C = n/vRT = cRT \quad (6)$$

C dilambangkan dengan konsentrasi sistem yang juga dapat ditulis sebagai

$$C = P/RT \quad (7)$$

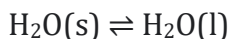
Oleh karena itu, konstanta kesetimbangan untuk kesetimbangan homogen dapat ditulis sebagai

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n} \quad (8)$$

K_p adalah konstanta kesetimbangan yang dihitung dari tekanan parsial persamaan reaksi dan
 Δn mewakili jumlah mol produk gas

7.6.2 Kesetimbangan Heterogen

Kesetimbangan heterogen adalah sistem kesetimbangan dimana reaktan dan produk ada dalam dua atau lebih kondisi zat (materi). Misalnya, dalam sistem kesetimbangan es dan air, reaksinya dinyatakan sebagai berikut:

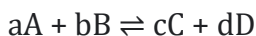


Keadaan reaktan dan produk kemudian berbeda dalam persamaan di atas. Air ada dalam sistem sebagai padat dan cair. Ini disebut sistem kesetimbangan heterogen karena keadaan atau fase reaktan dan produk berbeda.

Dalam kesetimbangan heterogen, reaktan dan produk hadir dalam fase yang berbeda. Oleh karena itu, konstanta kesetimbangan dinyatakan berbeda dari pada kesetimbangan homogen.

Konstanta kesetimbangan untuk reaksi yang mengandung komponen dalam fase yang sama harus dihitung secara berbeda dari konstanta untuk reaksi yang mengandung senyawa dalam tahap terpisah. Reaksi homogen adalah yang pertama, sedangkan reaksi heterogen adalah yang terakhir (Storey, 2011).

Konstanta kesetimbangan; Rasio produk reaksi terhadap reaktannya, diukur pada kesetimbangan, adalah konstanta kesetimbangan K untuk reaksi tertentu.

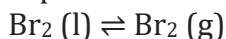


Konstanta kesetimbangan K adalah hasil bagi reaksi yang diukur pada kesetimbangan. Rasio produk terhadap reaktan pada kesetimbangan digunakan untuk menghitung konstanta kesetimbangan (K). Padatan dan cairan murni tidak dipertimbangkan ketika menentukan konstanta kesetimbangan karena konsentrasinya tetap konstan selama proses (Storey, 2011).

Contoh keseimbangan heterogen yakni; beberapa contoh reaksi kimia yang sering terjadi pada kesetimbangan heterogen dijelaskan di bawah ini:

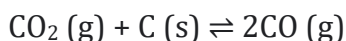
Pada suhu kamar, bromin ada sebagai cairan. Ini berubah dengan cepat menjadi uap dan memiliki warna coklat kemerahan di kedua fase. Tingkat penguapan bromin dan kondensasi uap bromin

adalah sama pada kesetimbangan. Pada kesetimbangan, persamaan dapat ditulis sebagai berikut:



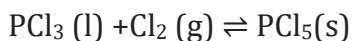
Ini adalah sistem kesetimbangan heterogen karena bromin ada dalam fase yang berbeda sebagai reaktan dan produk, dan sistem berada dalam kesetimbangan.

Reaksi antara karbon dioksida dan karbon adalah contoh lain dari sistem kesetimbangan heterogen. Gas karbon monoksida dihasilkan ketika gas karbon dioksida bergabung dengan karbon padat. Ini adalah reaksi kesetimbangan di mana laju reaksi maju dan mundur adalah sama. Berikut ini adalah persamaannya (Storey, 2011):



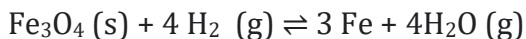
Karena reaktan dan produk dalam proses kesetimbangan yang disebutkan di atas hadir dalam dua fase, gas atau padat, itu adalah reaksi kesetimbangan heterogen.

Pada kesetimbangan, reaksi antara $\text{PCl}_3(\text{l})$ dan gas klor juga merupakan contoh kesetimbangan heterogen. Karena fosfor triklorida ada dalam keadaan cair dalam sistem kesetimbangan ini, klorin berpartisipasi sebagai gas, dan fosfor pentaklorida yang dihasilkan ada dalam keadaan padat. Persamaannya adalah sebagai berikut:

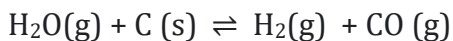


Pada kesetimbangan, reaksi antara Fe_2O_3 padat dan gas hidrogen juga merupakan contoh kesetimbangan heterogen. Karena Fe_2O_3 hadir dalam keadaan padat dan hidrogen hadir dalam fase gas dalam sistem kesetimbangan ini, besi dan air masing-

masing diproduksi dalam fase padat dan gas. Persamaannya adalah sebagai berikut:

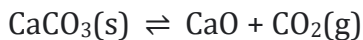


Reaksi uap dengan karbon merah-panas adalah contoh lain dari kesetimbangan heterogen. Persamaannya adalah sebagai berikut:



Dapat dilihat, reaksinya dalam kesetimbangan, dan fase gas mengandung uap, karbon monoksida, dan hidrogen, sedangkan fase padat mengandung karbon panas. Akibatnya, ini memberikan keseimbangan heterogen.

Ketika reaksi dekomposisi kalsium karbonat padat mencapai kesetimbangan, itu merupakan ilustrasi yang baik dari kesetimbangan heterogen. Persamaannya adalah sebagai berikut:



Karena kalsium karbonat dan kalsium oksida hadir dalam bentuk padat sedangkan karbon dioksida hadir dalam bentuk gas dalam proses kesetimbangan di atas, itu adalah contoh dari reaksi kesetimbangan heterogen

7.7 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kesetimbangan Kimia

Menurut (Tissue, 2013), ahli kimia Prancis Le-Chatelier dan Braun mengusulkan generalisasi tertentu untuk menjelaskan pengaruh perubahan suhu, konsentrasi, atau tekanan pada keadaan sistem kesetimbangan. Jika salah satu parameter ini berubah, keseimbangan sistem terganggu, dan sistem menyesuaikan kembali

sampai kembali ke kesetimbangan. Prinsip Le-Chatelier adalah nama generalisasi.

Prinsip Le-Chatelier dapat digambarkan sebagai: "perubahan dalam salah satu komponen yang menentukan kondisi keseimbangan sistem akan menggerakkan keseimbangan sedemikian rupa sehingga efek perubahan berkurang atau dilawan".

Prinsip ini sangat berguna untuk meramalkan secara kualitatif pengaruh perubahan konsentrasi, tekanan, atau suhu pada sistem kesetimbangan. Keseimbangan kimia dan fisik diatur oleh prinsip ini. Suhu, tekanan, dan konsentrasi sistem adalah semua faktor yang mempengaruhi kesetimbangan. Bagian berikut membahas beberapa faktor paling penting yang mempengaruhi keseimbangan.

Ketika konsentrasi reaktan dan produk tidak berubah dari waktu ke waktu, mereka dikatakan berada dalam keadaan kesetimbangan. Stabilitas atribut tertentu yang dapat diamati seperti tekanan, kepadatan, dan sebagainya dapat digunakan untuk mengidentifikasi keadaan ini. Keseimbangan fisik adalah keseimbangan yang diatur dalam proses fisik. Kesetimbangan kimia adalah keadaan berada dalam kesetimbangan dalam suatu proses kimia (Tissue, 2013).

Suhu, tekanan, dan konsentrasi sistem adalah semua faktor yang mempengaruhi kesetimbangan. Ketika salah satu faktor ini berubah, keseimbangan sistem terganggu, dan sistem menyesuaikan kembali dirinya sampai kembali ke keseimbangan. Bagian berikut membahas beberapa aspek paling penting yang memengaruhi keseimbangan (Tissue, 2013).

7.7.1 Tekanan

Volume berubah, yang menyebabkan perubahan tekanan. Karena jumlah total reaktan gas dan produk sekarang berbeda, perubahan tekanan dapat berdampak pada reaksi gas. Tekanan tidak berpengaruh pada kesetimbangan jika jumlah mol reaktan gas

dan produk tidak berubah. Perubahan tekanan dalam cairan dan padatan dapat diabaikan dalam kesetimbangan kimia heterogen, menurut prinsip Le-Chatelier, karena volume larutan hampir tidak tergantung pada tekanan. Akibatnya, perubahan volume mempengaruhi keseimbangan dengan cara berikut:

1. Ketika tekanan meningkat, reaksi berbalik karena jumlah mol gas di sisi reaktan menurun.
2. Ketika tekanan berkurang, reaksi berlangsung maju karena jumlah mol gas di sisi produk berkurang.

7.7.2 Volume

Karena peningkatan tekanan menghasilkan penurunan volume, efek perubahan volume akan persis kebalikan dari perubahan tekanan. Akibatnya, perubahan volume memiliki efek berikut pada kesetimbangan:

1. Ketika volume campuran gas pada kesetimbangan berkurang, kesetimbangan bergerak ke arah sejumlah kecil molekul gas.
2. Ketika volume campuran gas pada kesetimbangan meningkat, kesetimbangan bergerak ke arah sejumlah besar molekul gas.

7.7.3 Suhu

Menurut prinsip Le-Chatelier jika suhu sistem kesetimbangan meningkat, yaitu, ketika panas disuplai, kesetimbangan akan bergerak ke arah panas yang ditambahkan. Dengan peningkatan suhu, kesetimbangan akan bergerak ke arah reaksi endotermik. Penurunan suhu, di sisi lain, akan menggeser kesetimbangan ke arah produksi panas, mendukung reaksi eksotermik. Pengaruh suhu pada kesetimbangan kimia ditentukan oleh tanda reaksi ΔH , sesuai dengan prinsip Le-Chatelier;

1. Ketika suhu meningkat, konstanta kesetimbangan dari reaksi eksotermik menurun.

2. Konstanta kesetimbangan reaksi endotermik meningkat seiring dengan meningkatnya suhu.
3. Laju reaksi dipengaruhi oleh perubahan suhu selain konstanta kesetimbangan.

7.7.4 Konsentrasi

Ketika konsentrasi salah satu reaktan atau produk dalam reaksi kesetimbangan diubah, komposisi campuran kesetimbangan berubah untuk meminimalkan efek perubahan konsentrasi. Menurut prinsip Le-Chatelier;

1. Reaksi yang mengonsumsi zat yang ditambahkan, mengurangi konsentrasi reaktan atau produk yang ditambahkan.
2. Reaksi ke arah yang mengisi kembali zat yang ditarik mengurangi konsentrasi reaktan atau produk yang dihilangkan.

Dapat disimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi satu atau semua spesies reaktan menyebabkan kesetimbangan bergeser ke depan, menghasilkan pembentukan lebih banyak produk. Ketika konsentrasi satu atau lebih spesies produk meningkat, kesetimbangan bergerak mundur, menghasilkan pembentukan lebih banyak reaktan. Jadi, komposisi campuran dalam kesetimbangan kimia berubah ketika konsentrasi reaktan atau produk diubah.

7.7.5 Katalis

Kesetimbangan tidak terpengaruh oleh katalis. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa katalis mendukung reaksi maju dan mundur secara setara. Akibatnya, rasio laju maju-ke-mundur tetap tidak berubah, dan tidak ada perubahan bersih dalam jumlah relatif reaktan dan produk yang ada pada kesetimbangan. Dengan demikian, katalis tidak berpengaruh pada posisi kesetimbangan.

Akibatnya, katalis tidak berdampak pada kesetimbangan kimia. Ini hanya mempercepat reaksi. Katalis, secara umum, mempercepat reaksi maju dan mundur. Dengan demikian, reaksi mencapai kesetimbangan lebih cepat.

Dalam reaksi yang dikatalisis atau non-katalisis, jumlah reaktan dan produk yang sama akan hadir pada kesetimbangan. Kehadiran katalis hanya membantu reaksi dengan memungkinkannya untuk maju melalui keadaan transisi energi rendah reaktan ke produk (Tissue, 2013).

7.7.6 Penambahan Gas Inert

Tergantung pada kondisinya, menambahkan gas inert ke kesetimbangan memiliki efek sebagai berikut (Tissue, 2013).

1. **Penambahan gas inert pada volume konstan – Ketika volume konstan gas inert** ditambahkan ke sistem kesetimbangan, tekanan total meningkat. Konsentrasi reaktan dan produk, di sisi lain, akan tetap tidak berubah. Akibatnya, tidak akan ada efek pada keseimbangan dalam kondisi ini.
2. **Penambahan gas inert pada tekanan konstan – Ketika pada tekanan konstan, gas inert** ditambahkan ke sistem kesetimbangan, volumenya meningkat. Akibatnya, jumlah mol per satuan volume berbagai reaktan dan produk akan berkurang. Jadi, kesetimbangan akan bergeser mendukung peningkatan jumlah mol gas.

DAFTAR PUSTAKA

- Blandamer, M. J., 1992. Chemical Equilibria in Solution: Dependence of Rate and Equilibrium Constants on Temperature and Pressure. New York: Ellis Horwood/PTR Prentice Hall.
- Butler, J. N., 1991. Carbon Dioxide Equilibria and Their Applications. Chelsea: Lewis Publishers.
- Chambers, C., 1995. Equilibria and Inorganic Chemistry. London: Collins Educational.
- de Nevers, N., 2012. Physical and Chemical Equilibrium for Chemical Engineers. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Hermans, J., 2014. Equilibria and Kinetics of Biological Macromolecules. Hoboken, N.J: Wiley.
- Nevers, N. D., 2012. Physical and Chemical Equilibrium for Chemical Engineers. 2nd Ed ed. Hoboken, N.J: Wiley.
- Rubinson, K. A. a. J. F. R., 2007. Chemical Equilibria. Limited ed. s.l.:Pearson Education.
- Soustelle, M., 2015. Chemical Equilibria. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Storey, Z. F. V. a. S. H., 2011. Computation of Chemical Equilibria. s.l.:Cambridge University Press.
- Tissue, B. M., 2013. Basics of Analytical Chemistry and Chemical Equilibria. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/
- <https://www.britannica.com/science/chemical-equilibrium>

BAB 8

KIMIA ASAM DAN BASA

Oleh Aliyah Fahmi

8.1 Pendahuluan

Asam basa merupakan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik atau disebut dengan larutan elektrolit. Larutan asam basa pula dikenal karena memiliki karakteristik atau sifat khusus diantaranya yaitu: asam karena memiliki rasa asam, contohnya adalah asam askorbat (vitamin C), asam sitrat, asam asetat (cuka). Sedangkan basa pada umumnya memiliki rasa seperti sabun mandi, detergen, soda api.



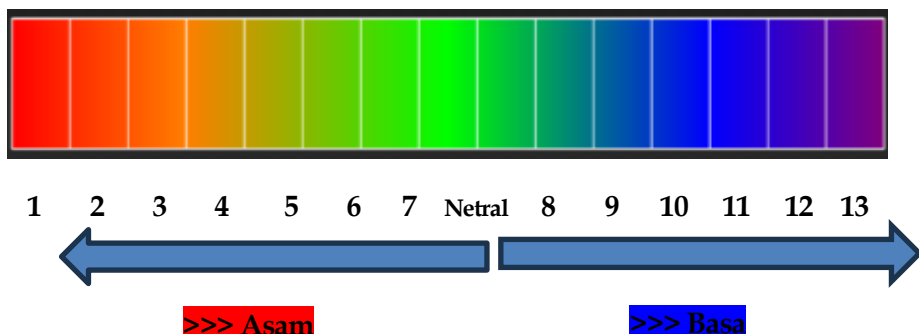
Gambar 8.1. Jeruk mengandung asam sitrat (asam) dan sabun mengandung Kalium hidroksida/KOH (basa)

Asam merupakan molekul atau ion yang dapat memberikan proton (ion hidrogen H^+), atau, dengan kata lain asam mampu untuk membentuk ikatan kovalen dengan pasangan elektron (asam Lewis). Pada umumnya, sifat-sifat asam adalah memiliki rasa khas asam/masam, bila terhirup atau tersentuh ada terasa tersengat, bereaksi kuat dengan logam (korosif), merupakan cairan yang dapat menghantarkan arus listrik/elektrolit,, kemampuan untuk mengubah kertas lakmus biru menjadi merah, pH di bawah dari 7.

Kategori pertama menyatakan bahwa asam disebut dengan donor proton atau asam Bronsted. Pada beberapa kasus tertentu dalam larutan berair, donor proton membentuk ion hidronium H_3O^+ dan dikenal sebagai asam Arrhenius. Asam Bronsted maupun Arrhenius pada umumnya mempunyai atom H (hidrogen) yang berikatan dengan struktur kimia yang tetap aktif setelah kehilangan H^+ .

Asam Arrhenius dalam larutan berair memiliki sifat karakteristik yang unik. Asam dapat membentuk larutan berair dengan rasa masam, dan pula dapat mengubah lakmus biru menjadi merah, serta dapat bereaksi dengan basa dan berbagai logam sebagai contoh kalium membentuk garam kalium klorida.

Kata acid (bahasa Inggris dari asam) berasal dari bahasa Latin acidus yang berarti masam. Larutan berair asam memiliki pH kurang dari 7 dan larutan ini juga disebut 'asam' dalam konteks sehari-hari (seperti pada frasa 'dilarutkan dalam asam'), sementara definisi ketat asam hanya merujuk pada zat terlarutnya. pH yang lebih rendah bermakna memiliki keasaman yang lebih tinggi, dan juga memiliki konsentrasi ion hidrogen positif yang lebih tinggi di dalam larutan.



Gambar 8.2. Warna pada pH indikator

Larutan berair asam yang umum di antaranya asam klorida (HCl) (larutan hidrogen klorida yang ditemukan pada asam lambung dan dapat mengaktifkan enzim pencernaan), asam asetat (cuka merupakan larutan berair encer dari cairan ini), asam sulfat (digunakan pada baterai mobil), dan asam sitrat (ditemukan pada buah jeruk). Berdasarkan contoh ini, asam pada umumnya dapat berupa larutan maupun bahan kimia murni, serta dapat diturunkan dari asam berbentuk padat, cair, maupun gas. Asam kuat dan beberapa asam lemah terkonsentrasi bersifat korosif, tetapi terdapat pengecualian seperti asam borat.

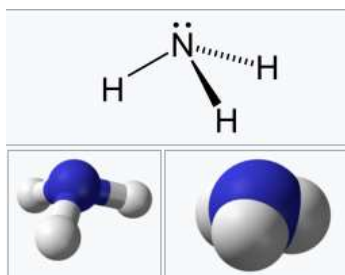
Asam kategori kedua adalah asam Lewis, yaitu asam yang dapat membentuk ikatan kovalen dengan pasangan elektron. Salah satu contoh adalah boron trifluorida (BF_3) dengan atom boron memiliki orbital kosong yang dapat membentuk ikatan kovalen melalui pembagian pasangan elektron sunyi pada atom di dalam senyawa basa, sebagai contoh atom nitrogen pada amonia (NH_3).

Lewis mempertimbangkan teori ini sebagai generalisasi definisi Bronsted sehingga asam merupakan spesies kimia yang menerima pasangan elektron baik secara langsung maupun melalui pelepasan proton (H^+) ke dalam larutan, yang nantinya dapat menerima pasangan elektron. Akan tetapi, hidrogen klorida/HCl, asam asetat/ CH_3COOH dan kebanyakan asam Bronsted-Lowry lainnya tidak dapat membentuk ikatan kovalen dengan pasangan elektron sehingga bukan asam Lewis. Sebaliknya, banyak asam Lewis bukan termasuk asam Arrhenius maupun Bronsted-Lowry. Dalam terminologi modern, asam secara implisit merujuk pada asam Bronsted dan bukan asam Lewis, mengingat kimiawan hampir selalu merujukkan asam Lewis secara eksplisit sebagai asam Lewis. (Wikipedia 2023; Petrucci, 2017)

Basa dapat dibagi menjadi basa kuat dan basa lemah. Kekuatan basa sangat bergantung pada kemampuan basa tersebut melepaskan ion OH atau hidroksida dalam larutan dan konsentrasi larutan basa tersebut. Secara umum, sifat-sifat basa adalah rasanya

pahit, licin, kaustik, pH lebih dari 7, mengubah warna lakmus merah menjadi biru, dapat menghantarkan arus listrik, menetralkan asam serta dapat mengakibatkan pelapukan.

Contoh paling umum dari basa kuat adalah hidroksida dari logam alkali dan logam alkali tanah seperti NaOH dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Contoh senyawa basa kuat adalah kalium hidroksida (KOH) dan barium hidroksida ($\text{Ba}(\text{OH})_2$). Basa lemah adalah larutan basa tidak berubah seluruhnya menjadi ion hidroksida dalam larutan.



Gambar 8.3. Amonia (Sumber Wikipedia, 2023)

Amonia (NH_3) adalah salah satu contoh basa lemah. Sudah sangat jelas amonia tidak mengandung ion hidroksida, tetapi amonia bereaksi dengan air untuk menghasilkan ion amonium dan ion hidroksida. Akan tetapi, reaksi berlangsung reversibel, dan pada setiap saat sekitar 99% amonia tetap ada sebagai molekul amonia. Hanya sekitar 1% yang menghasilkan ion hidroksida. Contoh senyawa basa lemah adalah gas amoniak (NH_3), besi hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) dan aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$). (Oxtoby & Gillis, 2015; Petrucci, 2017)

8.2 Teori Asam Basa

Ada 3 teori asam basa menurut para ahli antara lain:

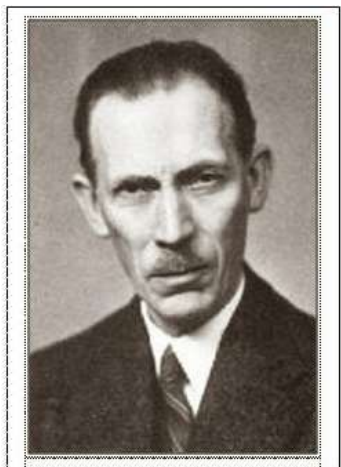
1. Teori Arrhenius
2. Teori Bronsted-Lowry
3. Teori Asam Basa Lewis

Ahli kimia yang berasal dari Swedia yaitu Svante Arrhenius menghubungkan sifat keasaman dengan ion Hidrogen (H^+) pada tahun 1884. Menurut Arrhenius, definisi asam adalah zat yang apabila dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion H^+ dalam larutan, sedangkan basa adalah zat yang apabila dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion OH^- dalam larutan.

Menurut Arrhenius:

- Asam: zat/senyawa yang dapat menghasilkan H^+ dalam air
 $HI(aq) \rightarrow H^+(aq) + I^-(aq)$
- Basa : zat/senyawa yang dapat menghasilkan OH^- dalam air
 $NaOH(aq) \rightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$
- Reaksi netralisasi adalah reaksi antara asam dengan basa yang menghasilkan garam:
 $HCl(aq) + KOH(aq) \rightarrow KCl(aq) + H_2O(l)$
 $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$

Pada tahun 1923, ilmuwan kimia bernama Johannes Nicolaus Bronsted (Bronstead) dan Thomas Martin Lowry (Lowry) memperkenalkan asam dan basa berdasarkan kemampuan (donor) atau menerima (akseptor) proton (ion H^+).



Johannes Nicolaus Bronsted

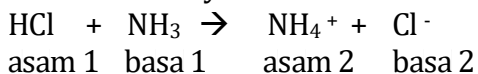


Thomas Martin Lowry

Gambar 8.4. Ilmuwan teori asam basa Bronsted-Lowry (Sumber Wikipedia, 2023)

Menurut Bronsted-Lowry definisi asam adalah zat yang memiliki kecenderungan untuk menyumbangkan ion H^+ pada zat lain, sedangkan basa adalah zat yang memiliki kecenderungan untuk menerima ion H^+ dari zat lain adalah basa.

Contoh reaksinya adalah:

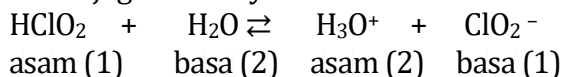


Beberapa tambahan tentang teori Bronsted – Lowry

1. Setiap spesies yang menurut teori Arrhenius adalah asam, tetap asam dalam teori Bronsted – Lowry. Hal yang sama untuk basa.
2. Teori Bronsted – Lowry dapat menjelaskan senyawa yang dapat berfungsi sebagai asam maupun basa (amfiprotik). Teori Arrhenius tidak dapat dengan mudah menjelaskan perilaku ini.

3. Spesies tertentu, karena tidak mengandung gugus hidroksi, tidak dapat diklasifikasi sebagai basa oleh teori Arrhenius. Akan tetapi, menurut teori Bronsted – Lowry, spesies tersebut diklasifikasi sebagai basa, seperti OCl^- dan H_2PO_4^-

Contoh lain adalah pada reaksi HClO_2 yang diubah menjadi ClO_2^- – dan kehilangan proton (H^+), maka HClO_2 dipastikan bertindak sebagai asam, dan ClO_2^- – konjugat basanya. H_2O menerima proton dari HClO_2 , jadi H_2O pasti bertindak sebagai basa dan H_3O^+ konjugat asamnya.

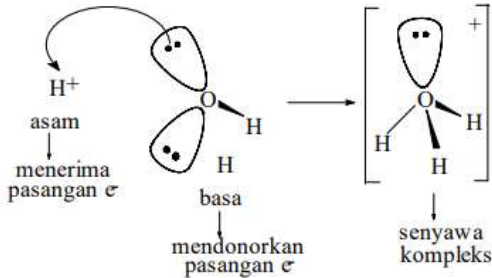


Pada teori asam-basa Arrhenius tidak dijelaskan perilaku asam-basa dalam larutan tidak berair dan pada teori asam-basa Bronsted-Lowry tidak diterangkan akan adanya sistem yang tidak terprotonasi.

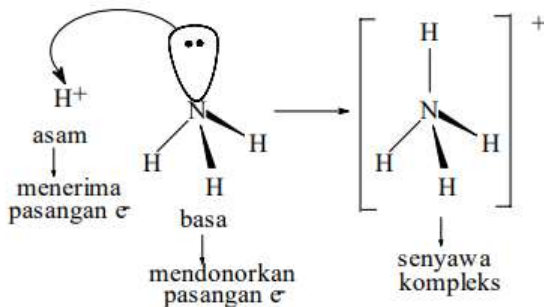
Pada tahun 1923, Gilbert Newton Lewis seorang ahli kimia dari UC Berkeley mengusulkan teori alternatif untuk menggambarkan asam dan basa. Teorinya menjelaskan tentang asam dan basa berdasarkan struktur dan ikatan. Menurut Lewis, definisi asam adalah suatu zat yang mempunyai kecenderungan menerima pasangan elektron dari basa, sedangkan basa adalah zat yang dapat memberikan pasangan elektron. Basa lewis memiliki pasangan elektron bebas.

Contoh sederhana dari reaksi asam-basa Lewis adalah reaksi pembentukan ion hidronium dan ion amonium.

Pembentukan ion hydronium/ H^+



Pembentukan ion amonium $/NH_4^+$



(Utomo, 2008; Lopez, Yos., 2023)

8.3 Identifikasi Asam Basa

Berdasarkan rentang nilai pH (derajat keasaman), asam berarti larutan yang memiliki nilai pH dibawah 7, sedangkan basa memiliki pH di atas 7, dan larutan dikatakan bersifat netral jika larutan tersebut memiliki nilai pH 7.

Sifat-sifat larutan asam sebagai berikut:

1. Berasa asam. Rasa asam hanya dapat diketahui melalui uji organoleptik (dicicipi). Uji ini hanya berlaku pada makanan yang memiliki sifat asam lemah. Uji ini tidak boleh diterapkan pada bahan-bahan kimia di laboratorium.
2. Korosif. Sifat ini dapat merusak berbagai benda logam dan nonlogam. Sifat asam apabila mengenai jaringan tubuh mengakibatkan kerusakan. Sifat korosif hanya dimiliki oleh asam dalam bentuk larutannya. Hal ini disebabkan oleh adanya ion hidrogen (H^+). Semakin kuat jenis asamnya, semakin mudah terurai membentuk ion hidrogen (H^+) sehingga semakin bersifat korosif.
3. Dapat terurai dalam air menjadi ion positif hidrogen dan ion negatif sisa asam.
4. Dapat mengubah warna kertas lakmus biru menjadi merah
5. Bereaksi dengan logam. Reaksi antara asam dengan logam menghasilkan . garam dan gas H_2 .
6. Bereaksi dengan karbonat. Reaksi antara asam dengan karbonat menghasilkan garam, air (H_2O), dan gas karbondioksida (CO_2).
7. Bereaksi dengan basa. Reaksi antara asam dengan basa menghasilkan garam dan air

Sedangkan larutan basa mempunyai sifat-sifat seperti berikut:

1. Berasa pahit. Rasa pahit pada basa seperti rasa pahit pada sabun. Sabun dibuat dari basa kuat ($NaOH$ dengan minyak).
2. Jika mengenai kulit akan terasa licin. Kulit dapat larut dalam basa kuat. Hal ini dapat terjadi ketika tangan direndam dalam air sabun atau detergen. Setelah direndam kulit tangan akan berkerut dan licin.
3. Bersifat kaustik. Senyawa basa dapat merusak kulit atau bersifat kaustik.
4. Dapat mengubah warna kertas lakmus merah menjadi biru

5. Dapat terionisasi dalam air menjadi ion positif logam dan ion negatif hidroksil
6. Bereaksi dengan asam menghasilkan garam dan air
7. Bereaksi dengan garam menghasilkan garam dan basa

Senyawa-senyawa asam-basa dapat diidentifikasi secara aman menggunakan indikator. Indikator merupakan zat warna yang warnanya berbeda jika berada dalam kondisi asam dan basa. Indikator yang biasa digunakan antara lain kertas lakmus, indikator alami, larutan indikator buatan, dan indikator dalam bentuk alat.

1. Kertas Lakmus. Cara yang paling sederhana untuk mengidentifikasi sifat asam, basa dan netral adalah dengan menggunakan kertas lakmus. Kertas lakmus adalah kertas indikator yang dapat berubah warna ketika di basahi dengan atau dicelupkan pada larutan asam atau basa. Kertas lakmus terdiri dari 2 (dua) jenis, yakni lakmus biru dan lakmus merah.
 - a. Lakmus biru adalah kertas lakmus yang apabila dicelupkan kedalam larutan asam akan berubah warna menjadi merah sedangkan dalam larutan basa dan netral tetap berwarna biru.
 - b. Lakmus merah adalah kertas lakmus yang apabila dimasukkan kedalam larutan basa akan berubah warna menjadi biru sedangkan apabila dalam larutan asam dan netral tetap berwarna merah.

Untuk mempermudah dalam penggunaan kertas lakmus untuk mengidentifikasi sifat asam, basa dan netral, dirangkumkan sebagai berikut:

- a. Larutan bersifat asam jika lakmus merah tetap berwarna merah dan lakmus biru berubah warna menjadi merah (semua kertas lakmus berwarna merah)

- b. Larutan bersifat basa jika lakmus merah berubah warna menjadi biru dan lakmus biru tetap berwarna biru (semua kertas lakmus berwarna biru)
 - c. Larutan netral adalah ketika kertas lakmus merah tetap merah dan biru tetap biru (tidak ada perubahan warna lakmus)
2. pH Universal Kertas pH universal adalah salah satu jenis indikator asam basa yang berbentuk kertas seperti lakmus. Suatu kertas pH Universal memiliki beberapa warna. Warna pada kertas pH Universal menunjukkan skala nilai pH yang dimulai dari pH 1 sampai pH 14. Oleh karenanya kertas pH Universal tidak hanya berfungsi untuk mengetahui sifat asam-basa, tapi juga dapat untuk mengetahui dan mengukur nilai pH suatu larutan. Cara kerja indikator universal adalah dengan mengalami perubahan warna menjadi warna tertentu yang menunjukkan nilai pH larutan yang diuji.
- Cara menggunakan pH universal sama dengan cara penggunaan kertas lakmus, yaitu dengan cara dicelupkan ke dalam larutan yang ingin diuji atau diukur nilai keasaman/kebasaannya.
- a. Setelah dicelupkan pada larutan, kertas pH universal akan mengalami perubahan warna.
 - b. Selanjutnya bandingkan perubahan warna yang terjadi dengan skala warna pH universal (biasanya warna standar pembanding ini disediakan di wadah kertas pH universal).
 - c. Pilih warna yang paling sesuai dengan warna pembanding, maka akan diketahui nilai pH dari larutan yang kita uji tersebut.
3. Larutan Indikator Sintetis.

Larutan indikator adalah suatu zat yang memiliki warna berbeda dalam larutan yang bersifat asam, basa, ataupun netral. Karena memiliki warna yang berbeda dalam masing-masing larutan, indikator dapat digunakan untuk membedakan sifat-sifat larutan, apakah itu asam, basa, atau netral.

Ada banyak macam jenis larutan indikator buatan, namun yang sering dijumpai dan biasa digunakan di laboratorium adalah larutan indikator fenolftalin (pp), metil merah dan metil jingga.

Contoh larutan indikator asam basa sintetis adalah

- a. Fenolftalein: tidak berwarna dalam larutan asam dan netral, berwarna merah dalam kondisi basa.
- b. Metil merah (*red*): berwarna kuning dalam larutan basa dan netral, berwarna merah dalam kondisi asam.
- c. Metil jingga (*orange*): berwarna kuning dalam larutan basa dan netral, berwarna merah dalam kondisi asam.

4. Indikator Alami.

Indikator alami adalah indikator yang berasal dari ekstrak bahan alami, biasanya bersumber dari tumbuhan-tumbuhan yang berwarna. Contoh indikator alami adalah daun mahkota bunga (bunga sepatu, bogenvil, mawar), kunyit, kulit manggis dan sebagainya. Penggunaan indikator alami ini dapat dilakukan dengan mengekstrak bahan kemudian ditambahkan dengan air lalu digunakan sebagai indikator. Contoh indikator kulit manggis.

5. pH Meter Instrumen

pH meter merupakan alat yang dapat mengukur derajat keasamaan atau kebasaan suatu larutan. Identifikasi asam basa dengan pH meter dapat dilakukan dengan membaca nilai pH larutan menggunakan alat.

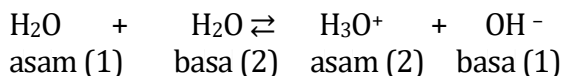
Nilai pH yang terbaca akan menunjukkan larutan tersebut bersifat asam atau basa.:

- Jika nilai pH yang terbaca dibawah 7, artinya larutan tersebut bersifat asam.
- Sebaliknya, jika nilai pH yang terbaca oleh alat di atas 7, artinya larutan bersifat basa.
- Sedangkan jika nilainya 7, artinya larutan tersebut bersifat netral

(Lopez., Yos F. 2023)

8.4 Keseimbangan Asam Basa

Pada teori Bronsted – Lowry, proses ionisasi melibatkan pemberian proton dari satu molekul air kepada molekul air lainnya. Sehingga, satu molekul air bertindak sebagai asam dan molekul lainnya bertindak sebagai basa. Hasilnya adalah ion hidronium, H_3O^+ (konjugat asam), dan ion hidroksida, OH^- (konjugat basa). Reaksi yang terjadi adalah reversible, dan pada reaksi kebalikannya H_3O^+ memberikan proton kepada OH^- . Pada kenyataannya, reaksi kebalikannya jauh lebih berarti dibandingkan dengan reaksi ke kanan.



H_2O bersifat asam apabila menyumbangkan ion H^+ dan dikatakan bersifat basa apabila menyumbangkan ion OH^- . Keseimbangan lebih ke arah kiri yang artinya bahwa asam (2) dan basa (1) jauh lebih kuat dibandingkan dengan asam (1) dan basa (2).

Keseimbangan dalam self-ionisasi air dapat dinyatakan dengan tetapan keseimbangan yang melibatkan konsentrasi H_3O^+ dan OH^- , akan tetapi tidak melibatkan air itu sendiri. Pada 25°C dalam air murni : $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$.

Tetapan kesetimbangan untuk self-ionisasi air disebut hasil kali ion dari air, dan dinyatakan sebagai K_w . Pada 25°C , $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1,0 \times 10^{-14}$ M. Seperti tetapan kesetimbangan lainnya, hasil kali ion dari air bervariasi dengan temperatur. Pada 60°C , $K_w = 9,6 \times 10^{-14}$ dan pada 100°C , $K_w = 5,5 \times 10^{-13}$. Pernyataan K_w di atas berlaku untuk semua larutan air, tidak hanya air murni saja. (Itenis, 2023)

Keseimbangan asam basa adalah suatu keadaan dimana konsentrasi ion hidrogen yang diproduksi setara dengan konsentrasi ion hidrogen yang dikeluarkan oleh sel. Pada proses kehidupan keseimbangan asam pada tingkat molekular umumnya berhubungan dengan asam lemah dan basa lemah, begitu pula pada tingkat konsentrasi ion H^+ atau ion OH^- yang sangat rendah.

Keseimbangan asam basa dapat pula dikatakan sebagai keseimbangan ion hidrogen. Walaupun produksi akan terus menghasilkan ion hidrogen dalam jumlah sangat banyak, ternyata konsentrasi ion hidrogen dipertahankan pada kadar rendah pH 7.4. Derajat keasaman (pH) darah manusia normalnya berkisar antara 7.35 hingga 7.45. Tubuh manusia mampu mempertahankan keseimbangan asam dan basa agar proses metabolisme dan fungsi organ dapat berjalan optimal.

Keseimbangan asam basa dalam tubuh manusia diatur oleh dua sistem organ yakni paru dan ginjal. Paru berperan dalam pelepasan (eksresi CO_2) dan ginjal berperan dalam pelepasan asam. Beberapa prinsip yang perlu kita ketahui terlebih dahulu adalah:

1. Istilah asidosis mengacu pada kondisi $\text{pH} < 7.35$ sedangkan alkalosis bila $\text{pH} > 7.45$
2. CO_2 (karbondioksida) adalah gas dalam darah yang berperan sebagai komponen asam. CO_2 juga merupakan komponen respiratorik. Nilai normalnya adalah 40 mmHg.
3. HCO_3 (bikarbonat) berperan sebagai komponen basa dan disebut juga sebagai komponen metabolik. Nilai normalnya adalah 24 mEq/L.

4. Asidosis berarti terjadi peningkatan jumlah komponen asam atau berkurangnya jumlah komponen basa.
5. Alkalosis berarti terjadi peningkatan jumlah komponen basa atau berkurangnya jumlah komponen asam

Pengaturan keseimbangan ion hidrogen dalam beberapa hal sama dengan pengaturan ion-ion lain dalam tubuh. Sebagai contoh, untuk mencapai ldan pembuangan ion hidrogen dari tubuh. (Viswanatha & Putra., 2017)

8.5 pH dan pOH

Notasi eksponensial merupakan notasi yang tepat untuk menyatakan jumlah yang sangat besar atau sangat kecil. Ketika menyatakan konsentrasi $[H_3O^+]$ dan $[OH^-]$ dalam larutan air biasanya angka yang diperoleh jauh lebih kecil dari 1. Angka tersebut dinyatakan dengan bentuk eksponensial, misal: $[H_3O^+] = 2,5 \times 10^{-3}$. Akan tetapi ada cara baik yang diusulkan oleh ahli biokimia dari Denmark bernama Soren Sorensen pada tahun 1909, yaitu pH dan pOH, dimana pH adalah harga negatif dari $\log [H_3O^+]$, sedangkan pOH adalah harga negatif dari $\log [OH^-]$.

pH menggambarkan kekuatan asam sedangkan pOH menggambarkan kekuatan basa. Semakin kecil harga pH, semakin asam larutan, semakin besar harga pOH, semakin basa larutan. $pH = -\log [H_3O^+]$ sehingga untuk larutan:

$$\begin{aligned} HCl \ 0,001 \ M &\rightarrow [H_3O^+], = 1 \times 10^{-3} \ M \rightarrow pH = -\log (1 \times 10^{-3}) = 3 \\ HCl \ 0,0025 \ M &\rightarrow [H_3O^+] = 2,5 \times 10^{-3} \ M \rightarrow pH = -\log (2,5 \times 10^{-3}) = 2,6 \end{aligned}$$

Untuk menentukan $[H_3O^+]$ yang berkaitan dengan pH tertentu, harus dilakukan perhitungan sebaliknya.

$$pH = -\log [H_3O^+] \rightarrow [H_3O^+] = \text{antilog} (- pH)$$

Sedangkan untuk basa, $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$ dan $[\text{OH}^-] = \text{antilog} (-\text{pOH})$.

Hal-hal penting yang perlu diketahui tentang konsep pH dan pOH.

1. $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$
2. $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$
3. $\text{pH} + \text{pOH} = 14$
4. Jika larutan semakin asam, maka $[\text{H}_3\text{O}^+]$ semakin besar, dan pH semakin kecil
5. Jika larutan semakin basa, maka $[\text{OH}^-]$ semakin besar, dan pOH semakin kecil, akan tetapi pH semakin besar
6. Larutan dengan $\text{pH} = 7$ adalah netral, larutan dengan $\text{pH} < 7$ adalah asam, larutan dengan $\text{pH} > 7$ adalah basa (Itenas, 2023)

8.6 Derajat Ionisasi

Yang dimaksud dengan derajat ionisasi (α) adalah hasil bagi dari jumlah total molekul elektrolit yang terionisasi menjadi ion-ion. Dapat pula didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah molekul zat yang terionisasi dengan jumlah molekul zat mula-mula.

Derajat ini digunakan untuk mewakili kekuatan suatu asam ataupun basa.

1. Elektrolit kuat akan memiliki derajat ionisasi sempurna, yaitu $\alpha=1$. Kalau dalam persen berarti 100%.
2. Elektrolit lemah akan memiliki derajat ionisasi $0 < \alpha < 1$, atau $\alpha=0,5$.
3. Non elektrolit gak memiliki derajat ionisasi, $\alpha=0$.

Kemampuan suatu zat menghasilkan ion H^+ menentukan kekuatan asam dari zat tersebut. Semakin banyak ion H^+ yang mampu dihasilkan menandakan sifat asam yang semakin kuat. Begitu pula halnya dengan kekuatan basa, kemampuan

menghasilkan ion OH^- menentukan kekuatan asam dari suatu zat. Semakin banyak ion OH^- yang dihasilkan menandakan sifat basa yang semakin kuat.

Nilai derajat ionisasi (α) paling rendah adalah 0 dan paling tinggi adalah 1. Larutan asam/basa yang merupakan elektrolit kuat mempunyai ionisasi besar (mendekati 1). Beberapa larutan elektrolit yang merupakan asam kuat antara lain H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , HBr , HI , dan lainnya. Beberapa larutan elektrolit yang merupakan basa kuat antara lain NaOH , BaOH , KOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dan lainnya. Sedangkan larutan asam basa yang merupakan elektrolit lemah memiliki derajat ionisasi kecil. Semakin kecil kemampuan larutan asam basa untuk menghasilkan ion-ion akan membuat nilai α semakin mendekati 0. (Lopez, 2023)

8.7 Sistem Pengaturan Keseimbangan Asam Basa Dalam Tubuh

Sistem pengaturan keseimbangan asam basa diselenggarakan melalui koordinasi dari 3 sistem :

1. Sistem Buffer. Sistem buffer/penyangga asam basa kimiawi dalam cairan tubuh, yang dengan segera bergabung dengan asam atau basa untuk mencegah perubahan konsentrasi ion hidrogen yang berlebihan. Sistem buffer ini menetralkan kelebihan ion hidrogen, bersifat temporer dan tidak melakukan eliminasi. Fungsi utama sistem buffer adalah mencegah perubahan pH yang disebabkan oleh pengaruh asam pada cairan ekstraseluler.

Sebagai buffer, sistem ini memiliki keterbatasan yaitu :

- a. Tidak dapat mencegah perubahan pH di cairan ekstraseluler yang disebabkan karena peningkatan CO_2 .
- b. Sistem ini hanya berfungsi bila sistem respirasi dan pusat pengendali sistem pernafasan bekerja normal
- c. Kemampuan menyelenggarakan sistem buffer tergantung pada tersedianya ion bikarbonat.

Ada 4 sistem buffer :

- a. Buffer bikarbonat merupakan sistem dapar di cairan ekstrasel terutama untuk perubahan yang disebabkan oleh non-bikarbonat
 - b. Buffer protein merupakan sistem dapar di cairan ekstrasel dan intrasel
 - c. Buffer hemoglobin merupakan sistem dapar di dalam eritrosit untuk perubahan asam karbonat
 - d. Buffer fosfat merupakan sistem dapar di sistem perkemihan dan cairan intrasel
2. Sistem Paru-Paru. Paru-paru dibawah kendali medula otak, mengendalikan karbondioksida, dan karena itu juga mengendalikan kandungan asam karbonik dari cairan ekstraseluler. Paru-paru melakukan hal ini dengan menyesuaikan ventilasi sebagai respons terhadap jumlah karbon dioksida dalam darah. Kenaikan dari tekanan parsial karbondioksida dalam darah arteri (PaCO_2) merupakan stimulan yang kuat untuk respirasi. Tekanan parsial karbondioksida dalam darah arteri (PaCO_2) juga mempengaruhi respirasi. Meskipun demikian, efeknya tidak sejelas efek yang dihasilkan oleh PaCO_2 .
3. Sistem Ginjal Untuk mempertahankan keseimbangan asam basa, ginjal harus mengeluarkan anion asam non-volatil dan mengganti HCO_3^- . Ginjal mengatur keseimbangan asam basa dengan sekresi dan reabsorpsi ion hidrogen dan ion bikarbonat. Pada mekanisme pengaturan oleh ginjal ini berperan tiga sistem buffer asam karbonat, buffer fosfat dan pembentukan ammonia. Ion hidrogen, CO_2 , dan NH_3 diekskresi ke dalam lumen tubulus dengan bantuan energi yang dihasilkan oleh mekanisme pompa natrium di basolateral tubulus. Ion hidrogen di dalam tubuh berasal dari makanan, minuman, dan proses metabolisme tubuh. Di

dalam tubuh ion hidrogen terbentuk sebagai hasil metabolisme karbohidrat, protein dan lemak, glikolisis anaerobik atau ketogenesis. (Viswanatha & Putra., 2017)

DAFTAR PUSTAKA

- Itenas., 2023. Asam Basa. Diakses melalui laman <http://ebook.itenas.ac.id/repository/bb87b6d0b35035e2a4f032859a93971c.pdf>. Diakses pada tanggal 26 Juni 2023
- Kemdikbud., 2020. Kimia. Diakses melalui laman https://repository.kemdikbud.go.id/22149/1/XI_Kimia_KD-3.12_Final.pdf. Diakses pada tanggal 22 Juni 2023.
- Lopez., Yos F. 2023. Identifikasi Asam Basa. Diakses melalui laman https://mplk.politanikoe.ac.id/images/MK-Kimia/Modul_Kuliah_Kimia/6-2-Identifikasi_Asam-Basa.pdf. Diakses pada tanggal 25 Juni 2023.
- Lopez., Yos. 2023. Teori Asam Basa. Diakses melalui laman https://mplk.politanikoe.ac.id/images/MK-Kimia/Modul_Kuliah_Kimia/6-1-Teori_Asam_Basa.pdf. Diakses pada tanggal 25 Juni 2023.
- Lopez., Yos. 2023. Derajat Ionisasi. Diakses melalui laman https://mplk.politanikoe.ac.id/images/MK-Kimia/Modul_Kuliah_Kimia/6-4-derajat_Ionisasi_dan_Tetapan_Ionisasi.pdf. Diakses pada tanggal 1 Juli 2023
- Wikipedia. 2023. Asam. Diakses melalui laman <https://id.wikipedia.org/wiki/Asam>. Diakses pada tanggal 20 Juni 2023.
- Wikipedia. 2023. Basa. Diakses melalui laman <https://id.wikipedia.org/wiki/Basa>. Diakses pada tanggal 22 Juni 2023.
- Wikipedia. 2023. Diakses melalui laman <https://en.wikipedia.org/wiki/Ammonia>. Diakses Pada tanggal 10 Agustus 2023'
- Wikipedia. 2023. Diakses melalui laman https://en.wikipedia.org/wiki/Br%C3%B8nsted%E2%80%93Lowry_acid%E2%80%93base_theory. Diakses pada tanggal 10 Agustus 2023.
- Viswanatha & Putra., 2017. Keseimbangan Asam Basa. Fakultas Kedokteran. Universitas Udayana.

- Oxtoby, D. W; Gillis, H.P.; Butler, L. J. 2015. Principles of Modern Chemistry. Brooks Cole.
- Petrucci, R. H. 2017. General chemistry: principles and modern applications. Pearson.
- Petrucci, R. H. 2017. General chemistry: principles and modern applications. Pearson.
- Utomo, M. P. 2008. Teori Asam-Basa. Makalah Pengabdian Pada Masyarakat. Universitas Negeri Yogyakarta.

BAB 9

ELEKTROKIMIA

Oleh I Wayan Tanjung Aryasa

9.1 Potensial Elektroda, E

Energi kimia dapat digunakan untuk menghasilkan listrik; Anda dapat menyimpannya dan menggunakannya saat diperlukan. Selain itu, efeknya terhadap energi mekanik dari energi listrik dapat mencapai hampir seratus persen. Selanjutnya, bagaimana energi kimia dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik? Pertama dan terpenting, Anda harus memahami definisi arus listrik. Jika mungkin untuk menghasilkan aliran elektron, arus listrik akan diinduksi karena arus memutar elektron. Dibutuhkan sumber elektron karena logam alkali pada golongan 1A dan 2A sangat reaktif dalam melepaskan elektron. Tidak ada bukti bahwa logam dapat menghasilkan arus listrik sebagai sumber elektron. Karena elektron perlu bergerak untuk menghasilkan arus listrik, cara elektron bergerak harus dipahami. Untuk elektron dapat berfungsi, biasanya diperlukan pemancar elektron dan akseptor elektron. Dalam kebanyakan kasus, logam memiliki akseptor elektron dan emitor elektron, masing-masing yang memiliki ion bermuatan positif dalam larutan. Pertanyaan berikutnya adalah apakah logam menghasilkan elektron dan ion positif dalam larutan? Meskipun tidak jelas, jika itu adalah akseptor elektron, pasti akan menghasilkan arus listrik. Bagaimana elektron harus bergerak ditunjukkan pada Gambar 9.1.

Gambar 9.1 menunjukkan reaksi logam tembaga (Cu) dengan AgNO_3 (aq) dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (aq). Antara Cu (p) dan Ag^+ (aq) dari AgNO_3 (aq) terjadi reaksi redoks, tetapi tidak antara Cu(p) dan

$\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ dari $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$. Apa yang membedakan? Apakah ada cara untuk menjelaskan perilaku ini?



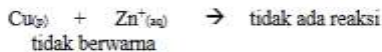
(b)

Perbedaan Perilaku Tembaga terhadap $Ag^+_{(aq)}$ dan $Zn^{2+}_{(aq)}$.

(a) Logam tembaga menggantikan Ag^+ dari $\text{AgNO}_3(\text{aq})$, menghasilkan logam perak.



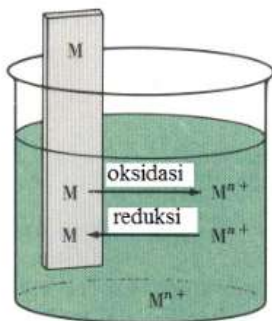
(b) Logam tembaga **tidak** menggantikan Zn^{2+} dari $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$.



Gambar 9.1. Perbedaan Perilaku Tembaga terhadap $\text{Ag}^+(\text{aq})$ dan $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$.

Ini disebabkan fakta bahwa standar kecenderungan ion logam untuk memperoleh elektron dan direduksi menjadi logam bebas tidak berlaku untuk semua logam. Ion Ag^+ lebih mudah direduksi daripada Zn^{2+} , seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 9.1.

pada atribut baru yang dikenal sebagai potensial elektroda, atau kemampuan menghantar listrik. Kemungkinan elektroda dan metode untuk mengukurnya akan dibahas di bagian ini. Dalam elektrokimia, logam M adalah sumber elektron. Istilah yang digunakan adalah elektroda, sementara fragmen logam direndam dalam larutan mengandung ion logam Mn^{+} sebagai penampung elektron. Penggabungan antara elektroda dan larutan dikenal sebagai setengah sel. Gambar 9.2 menunjukkan bagaimana hubungan antara elektroda dan larutan disebut.



Setengah Sel Elektrokimia.

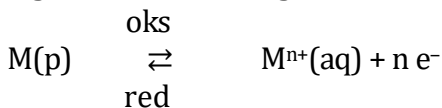
Setengah sel elektrokimia terdiri atas elektroda logam, M, yang direndam dalam larutan air dari ionnya, M^{n+} . Pada contoh ini dibatasi untuk logam yang tidak bereaksi dengan air.

Gambar 9.2. Setengah Sel Elektrokimia

Atom logam pada elektroda (M) dan ion logam dalam larutan memiliki kemampuan tiga kali berbeda:

1. Ion logam M^{n+} dapat menabrak elektroda dan tidak mengubahnya; ion logam M^{n+} dapat mengenai elektroda dan mengumpulkan n elektron sebelum diubah menjadi atom M, yang membuat ion menjadi lebih kecil; dan
2. Atom logam M pada elektroda kehilangan n elektron, mereka dapat masuk ke dalam larutan sebagai ion M^{n+} , di mana mereka dioksidasi.

Gambar berikut menunjukkan ketidakseimbangan antara logam dan larutan segera:

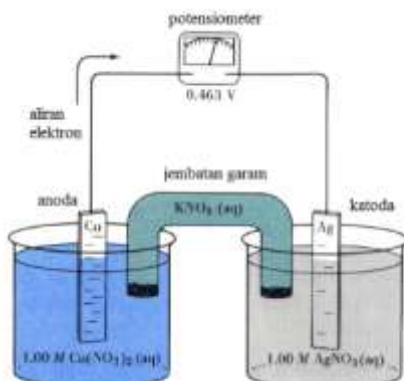


Apabila ada kecenderungan oksidasi yang kuat, diharapkan elektron yang tersisa akan mengumpulkan sedikit muatan negatif pada elektroda. Semakin besar kecenderungan logam untuk teroksidasi, semakin banyak muatan negatif yang dihasilkan. Jika ada kecenderungan penurunan yang signifikan, komposisi akan memiliki konsentrasi ion M^{n+} yang rendah dan muatan positif yang

rendah, sedangkan elektroda dan larutan akan memiliki muatan negatif. Meskipun muatan listrik ini tidak mungkin diukur secara langsung, ada metode yang dapat digunakan untuk melakukannya. Elektron akan mengalir jika dua elektroda terpisah dihubungkan. Potensial elektroda terkait erat dengan kerapatan muatan listrik negatifnya. Elektroda dengan kerapatan muatan listrik negatif yang lebih tinggi memiliki potensial yang lebih tinggi daripada elektroda dengan kerapatan muatan listrik negatif yang lebih rendah, sehingga larutan ion positif dan beberapa pasangan elektroda tidak dapat menghasilkan energi. Gambar 9.1 di atas menunjukkan perilaku metal Cu terhadap $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$. Ada reaksi oksidasi reduksi antara $\text{Cu}(\text{p})$ dan $\text{Ag}^+(\text{aq})$, tetapi tidak ada reaksi oksidasi reduksi antara $\text{Cu}(\text{p})$ dan $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$. Ini menunjukkan bahwa ion Ag^+ lebih mudah direduksi daripada ion Zn^{2+} .

Ion harus dimasukkan ke dalam larutan atau elektroda logam untuk mengukur perbedaan potensial antara dua elektroda. Dalam konteks arus listrik, larutan dan kedua elektroda perlu disambungkan dengan cara yang memungkinkan terbentuknya lintasan yang kontinu di mana elektron dapat mengalir secara bebas. Di sisi lain, kawat logam mencegah ion untuk mengalir dalam larutan.

Dua larutan dapat terikat oleh penyumbat berpori, membran, atau larutan ketiga. Secara umum, larutan ketiga ini dimasukkan ke dalam pipa U dan dipadatkan untuk "menjembatani" separuh sel kedua. Istilah "Jembatan garam" menggambarkan hubungan ini. Sel elektrokimia adalah nama kedua setengah sel ini setelah terjadi hubungan listrik dengan benar. Sistem ini terdiri dari dua setengah sel, dimana satu setengah sel memiliki elektroda tembaga (Cu) yang terendam dalam larutan $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$, sementara setengah sel lainnya memiliki elektroda perak (Ag) yang terendam dalam larutan $\text{Ag}^+(\text{aq})$. Jembatan garam menghubungkannya dengan larutan, dan elektroda disambungkan ke kawat. Sel elektrokimia ini digambarkan pada Gambar 9.3.



Gambar 15.3

Pengukuran Gaya Elektromotif dari Sel Elektrokimia.

Sel elektrokimia terdiri atas dua setengah sel dengan kedua elektroda yang dihubungkan dengan **kawat**, sedangkan kedua larutan dihubungkan dengan **jembatan garam**. Perbedaan **potensial** listrik antara kedua elektroda diukur dengan **potensiometer**.

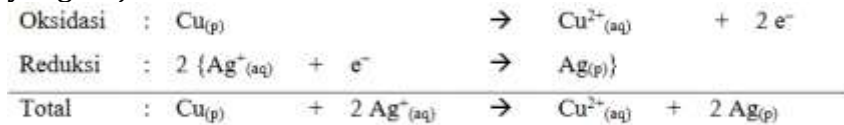
Gambar 9.3. Pengukuran Gaya Elektromotif dari Sel Elektrokimia

Dalam sel, terjadi perubahan berikut:

1. Pada elektroda Cu(p), atom Cu kehilangan elektronnya dan berubah menjadi ion $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ dalam larutan.
2. Kawat dan potensiometer memungkinkan elektron Cu masuk ke elektroda perak Ag(p). Dalam situasi di mana jembatan garam tidak ada, larutan yang mengandung setengah sel tembaga (Cu) akan menghasilkan Cu^{2+} yang berlebihan, yang bermuatan positif secara keseluruhan.
3. Setengah sel perak akan melepaskan ion Ag^+ berlebihan, yang merupakan anion, menyebabkan larutan menjadi bermuatan negatif. Karena memisahkan muatan listrik memerlukan energi yang sangat tinggi, arus listrik tidak dapat mengalir secara berkelanjutan. Namun, kelebihan muatan positif dari ion-ion Cu^{2+} dalam setengah sel tembaga dapat dikurangi oleh anion (NO_3^-) yang berasal dari jembatan garam, yang bergerak menuju setengah sel tembaga.
4. Karena ion (K^+) jembatan garam bermigrasi ke setengah sel emas, arus listrik dapat mengalir melalui larutan. Ini

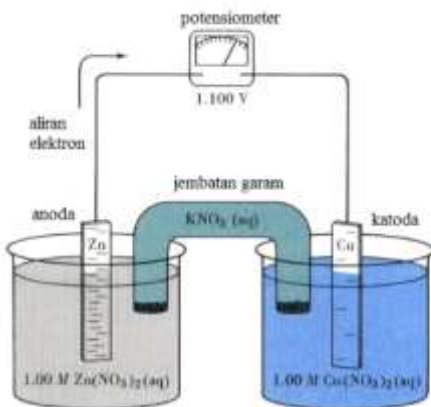
dilakukan untuk menetralkan muatan negatif dari ion NO_3^- yang berlebihan.

5. Saat arus listrik mengalir melalui sel elektrokimia, reaksi yang terjadi secara keseluruhan adalah :



6. Potensiometer mendeteksi selisih potensial sebesar 0,463 Volt antara kedua setengah sel. Karena satuan pengukurannya adalah "dorongan" elektron, kapasitas sel ini juga disebut sebagai volt sel atau kekuatan dorongan elektromotif (emf).

Kita akan mengarahkan perhatian kembali pada permasalahan yang telah dijelaskan dalam Gambar 9.1, yaitu mengapa tidak terjadi reaksi dan mengapa tembaga tidak menggantikan Zn^{2+} dalam larutan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.4, jika sel elektrokimia yang terdiri dari setengah $\text{Zn}_{(p)}/\text{Zn}^{2+}_{(aq)}$ dan setengah $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}/\text{Cu}_{(p)}$ dibuat, elektron akan mengalir dari Zn ke Cu.

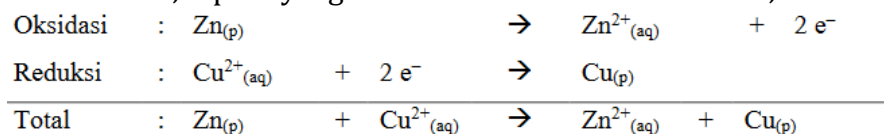


Reaksi yang terjadi dalam Sel Elektrokimia



Gambar 9.4. Reaksi yang terjadi dalam sel Elektrokimia

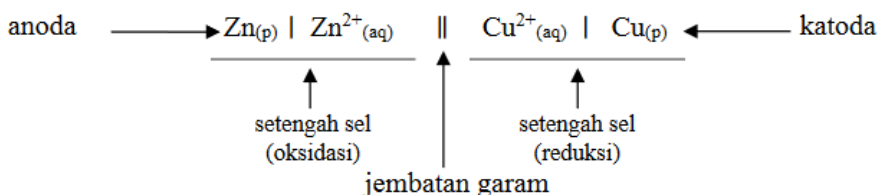
Proses yang terjadi dengan sendirinya dalam sel elektrokimia, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 9.4, adalah



Kami akan mengulang kembali pertanyaan yang telah dibahas dalam Gambar 9.1, yakni mengenai mengapa tidak terjadi reaksi dan mengapa tembaga tidak menggantikan Zn^{2+} dalam larutan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.4, jika sel elektrokimia yang terdiri dari setengah $\text{Zn}(p)/\text{Zn}^{2+}(aq)$ dan setengah $\text{Cu}^{2+}(aq)/\text{Cu}(p)$ dibuat, elektron akan mengalir dari Zn ke Cu.

Diagram Sel: Berikut ini adalah daftar komponen sel elektrokimia yang muncul dalam skema sel, beserta informasi yang perlu disertakan, seperti yang terlihat pada Gambar 9.4. Gambar ini adalah cara yang lebih simpel untuk memperlihatkan suatu sel elektrokimia. Karena anoda adalah elektroda tempat terjadi reaksi oksidasi, penulisan anoda ditampilkan disebelah kiri diagram.

1. Katoda adalah elektroda di mana terjadi reaksi reduksi, penulisan katoda diletakkan disebelah kanan diagram.
2. Garis vertikal (I) menunjukkan jarak antara larutan dan elektroda, dan
3. Garis vertikal ganda (II) membedakan larutan dari larutan.



Sel elektrokimia, juga dikenal sebagai sel volta atau sel galvani, adalah jenis sel yang menghasilkan perubahan kimia yang tidak spontan.

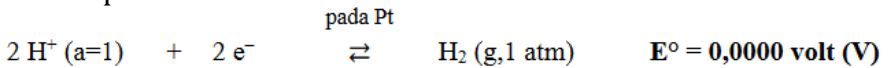
9.2 Potensial Elektroda Standar, E°

Potensiometer dalam sel elektrokimia mengukur arus listrik bukan potensial elektroda langsung, tetapi perbedaan potensial antara anoda dan katoda. Bagaimana cara menghitung kapasitas elektroda logam? Secara logika, harga potensial elektroda pasangan dalam sel elektrokimia dapat dengan mudah dihitung dengan menggunakan potensiometer, yang merupakan perbedaan potensial elektroda. Ini berlaku jika harga potensial elektroda sudah diketahui. Hal ini dapat dicapai dengan memilih sepasang elektroda di mana salah satu potensialnya memiliki nilai nol dan digunakan sebagai titik acuan atau referensi. Elektroda referensi ini dapat digunakan untuk membandingkan semua pasangan lainnya. Elektroda hidrogen biasa digunakan sebagai elektroda rujukan karena harga potensialnya nol, di mana harga potensial. Gambar 9.5 menunjukkan hal ini.



Gambar 9.5. Elektroda Hidrogen Standar

Melalui persamaan



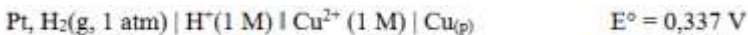
atau melalui pasangan setengah sel



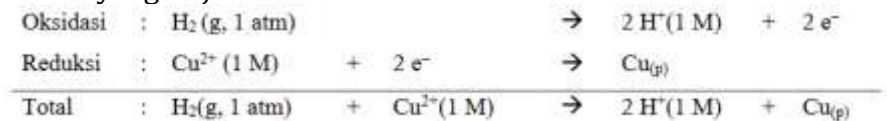
Standar internasional mengatur potensial elektroda standar (E°) berdasarkan kecenderungan proses reduksi pada elektroda. Pernyataan berikut dapat diterapkan untuk elektroda standar lainnya.



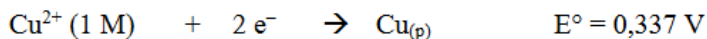
Dalam setiap situasi, larutan air mengandung zat ionik pada tingkat aktivitas (sekitar 1 M) dan gas pada tekanan 1 atm. Potensi diukur pada elektroda inert seperti platinum dalam situasi di mana senyawa padat tidak ada. Dilakukan perbandingan antara elektroda ini dan elektroda hidrogen biasa untuk mengetahui harga E° elektroda untuk kedua reaksi di atas. Grafik volta di bawah ini menggambarkan perbedaan potensial sebesar 0,337 V saat aliran elektron terjadi dari elektroda Cu menuju H_2 . Harga potensial ini adalah potensial sel standar, atau E° sel, karena terdiri dari dua elektroda standar.



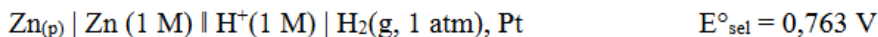
Reaksi yang terjadi dalam sel volta di atas adalah



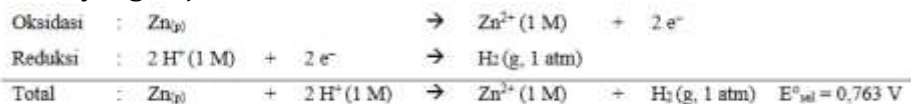
Potensial elektroda standar untuk menggambarkan reduksi $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ menjadi $\text{Cu}(\text{p})$ adalah + 0,337 V; reaksi sel di atas menunjukkan bahwa Cu^{2+} (1 M) lebih mudah direduksi daripada H^+ (1 M).



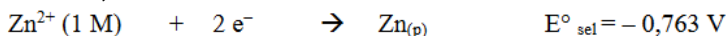
Saat elektroda standar hidrogen dikombinasikan dengan elektroda standar seng (Zn), terjadi aliran elektron dari elektroda hidrogen ke elektroda seng dalam arah yang berlawanan. Dalam situasi ini, elektroda standar hidrogen berperan sebagai katoda, yaitu untuk reaksi reduksi, sementara elektroda seng berperan sebagai anoda, yaitu untuk reaksi oksidasi. Nilai potensial sel (E°) adalah 0,763 V.



Reaksi yang terjadi dalam sel volta di atas adalah



Elektroda seng lebih suka teroksidasi daripada direduksi, jadi reduksi Zn^{2+} (1 M) harus lebih sulit daripada H^+ (1 M). Jika kecenderungan oksidasi berlawanan dengan kecenderungan reduksi, maka



Tabel 9.1. Beberapa Potensial Elektroda Standar

Setengah Reaksi Reduksi						E°, volt
Larutan Asam						
F _{2(g)}	+	2 e ⁻	→	2 F _(aq) ⁻		+ 2,87
O _{3(g)}	+	2 H ⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→ O _{2(g)} + H ₂ O	+ 2,07
S ₂ O ₈ ²⁻ _(g)	+	2 e ⁻	→	2 SO ₄ ²⁻ _(g)		+ 2,01
H ₂ O ₂ _(g)	+	2 H ⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→ 2 H ₂ O	+ 1,77
MnO ₄ ⁻ _(aq)	+	8 H ⁺ _(aq)	+	5 e ⁻	→ Mn ²⁺ _(aq) + 4 H ₂ O	+ 1,51
PbO ₂ _(p)	+	4 H ⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→ Pb ²⁺ _(aq) + 2 H ₂ O	+ 1,455
Cl _{2(g)}	+	2 e ⁻	→	2 Cl ⁻ _(aq)		+ 1,360
Cr ₂ O ₇ ²⁻ _(aq)	+	14 H ⁺ _(aq)	+	6 e ⁻	→ 2 Cr ³⁺ _(aq) + 7 H ₂ O	+ 1,33
O ₂ _(g)	+	4 H ⁺ _(aq)	+	4 e ⁻	→ 2 H ₂ O	+ 1,229
MnO ₂ _(p)	+	4 H ⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→ Mn ²⁺ _(aq) + 2 H ₂ O	+ 1,224
2 IO ₃ ⁻ _(aq)	+	12 H ⁺ _(aq)	+	10 e ⁻	→ I _{2(p)} + 6 H ₂ O	+ 1,195
Br _{2(l)}	+	2 e ⁻	→	2 Br ⁻ _(aq)		+ 1,065
NO ₃ ⁻ _(aq)	+	4 H ⁺ _(aq)	+	3 e ⁻	→ NO _(g) + 2 H ₂ O	+ 0,96
Ag ⁺ _(aq)	+	e ⁻	→	Ag _(p)		+ 0,800
Fe ³⁺ _(aq)	+	e ⁻	→	Fe ²⁺ _(aq)		+ 0,771
O _{2(g)}	+	2 H ⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→ H ₂ O _{2(aq)}	+ 0,682
I _{2(p)}	+	2 e ⁻	→	2 I ⁻ _(aq)		+ 0,535
Cu ⁺ _(aq)	+	e ⁻	→	Cu _(p)		+ 0,52
H ₂ SO ₃ _(aq)	+	4 H ⁺ _(aq)	+	4 e ⁻	→ S _(p) + 3 H ₂ O	+ 0,45
Cu ²⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→	Cu _(p)		+ 0,337
SO ₄ ²⁻ _(aq)	+	4 H ⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→ 2 H ₂ O + SO _{2(g)}	+ 0,17
Sn ⁴⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→	Sn ²⁺ _(aq)		+ 0,154
S _(p)	+	2 H ⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→ H ₂ S _(g)	+ 0,141
2 H ⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→	H _{2(g)}		0,0000
Pb ²⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→	Pb _(p)		- 0,126
Sn ²⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→	Sn _(p)		- 0,136
Cr ³⁺ _(aq)	+	e ⁻	→	Cr ²⁺ _(aq)		- 0,407
Fe ²⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→	Fe _(p)		- 0,440
Zn ²⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→	Zn _(p)		- 0,763
Al ³⁺ _(aq)	+	3 e ⁻	→	Al _(p)		- 1,66
Mg ²⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→	Mg _(p)		- 2,375
Na ⁺ _(aq)	+	e ⁻	→	Na _(p)		- 2,714
Ca ²⁺ _(aq)	+	2 e ⁻	→	Ca _(p)		- 2,76
K ⁺ _(aq)	+	e ⁻	→	K _(p)		- 2,925
Li ⁺ _(aq)	+	e ⁻	→	Li _(p)		- 3,045

Larutan basa

$\text{O}_3(\text{g})$	+	H_2O	+	2e^-	$\rightarrow$	$\text{O}_2(\text{g})$	+	2OH^-	+ 1,24
$\text{OCl}^-(\text{aq})$	+	H_2O	+	2e^-	$\rightarrow$	Cl^-	+	2OH^-	+ 0,89
$\text{O}_2(\text{g})$	+	$2 \text{H}_2\text{O}$	+	4e^-	$\rightarrow$	$4 \text{OH}^-(\text{aq})$			+ 0,401
$\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$	+	$4 \text{H}_2\text{O}$	+	3e^-	$\rightarrow$	$\text{Cr}(\text{OH})_3(\text{s})$	+	5OH^-	- 0,13
$\text{S}(\text{s})$	+	2e^-	+	2e^-	$\rightarrow$	$\text{S}^{2-}(\text{aq})$			- 0,48
$2 \text{H}_2\text{O}$	+	2e^-			$\rightarrow$	$\text{H}_2(\text{g})$	+	$2 \text{OH}^-(\text{aq})$	- 0,828
$\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$	+	H_2O	+	2e^-	$\rightarrow$	$\text{SO}_3^{2-}(\text{aq})$	+	$2 \text{OH}^-(\text{aq})$	- 0,93

9.3 Kerja Listrik, ΔG° , dan Perubahan Spontan

Jumlah kerja yang berbeda dari kerja tekanan, yaitu volume, disebut energi bebas (G).

$$\Delta G = W_{\text{mak}}(\text{useful})$$

Hukum termodinamika menyatakan bahwa apabila sistem melakukan kerja, harganya adalah negatif, sehingga $\Delta G < 0$ pada proses spontan. Sebaliknya, apabila ΔG melebihi nol, maka diperlukan usaha untuk menyebabkan perubahan yang tidak berlangsung dengan sendirinya. Dengan mempertimbangkan voltase sel dan tetapan Faraday sebesar 96.500 coulomb per mol elektron (96.500 C/mol e^-), usaha listrik yang dilakukan oleh sel dikenal sebagai volt. Tanda negatif menunjukkan bahwa sel telah menyelesaikan tugasnya.

$$W_{\text{listrik}} = -n F E_{\text{sel}}$$

Persamaan untuk ΔG dan W dalam konteks listrik bisa diungkapkan karena kerja listrik memiliki kemampuan untuk dilakukan sebagai kebalikan dari total kerja berguna maksimal.

$$\Delta G = -n F$$

Apabila keadaan reaktan dan produk standar, maka

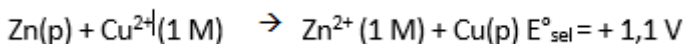
$$\Delta G^\circ = -n F E_{\text{sel}}$$

Menghitung jumlah mol elektron yang terlibat (n) melibatkan perhitungan total mol elektron dari keseluruhan reaksi, bukan hanya pada reaksi reduksi atau oksidasi saja. Cara termudah untuk menentukan jumlah mol elektron yang terlibat adalah

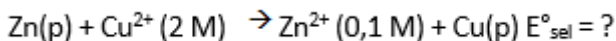
dengan menghitung berapa banyak elektron yang harus ditransfer untuk melangsungkan seluruh reaksi.

9.4 E° sel sebagai Fungsi Konsentrasi

Dengan menggabungkan potensial elektroda standar, emf sel volta dapat ditetapkan dalam keadaan normal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.4.



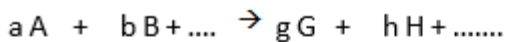
Akan tetapi bagaimana kalau keadaan yang digunakan dalam sel volta tidak standar, seperti :



Prinsip Le Châtelier menunjukkan bahwa jika konsentrasi reaktan (Cu^{2+}) meningkat sementara konsentrasi produk (Zn^{2+}) menurun, reaksi yang lebih baik akan terjadi ke arah kanan. Ini terjadi ketika konsentrasi elektron lebih dari 1,1 V, dan jika variasi elektron secara linier dengan $\log [\text{Zn}^{2+}]/[\text{Cu}^{2+}]$, seperti yang ditunjukkan pada persamaan, reaksi akan lebih spontan.

$$E^{\circ}_{\text{sel}} = 1,1 - 0,03 \log \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$$

Jenis hubungan ini awalnya diinvestigasi oleh Walter Nernst (1864-1941). Persamaan yang dijelaskan sebelumnya merujuk pada persamaan yang lebih dikenal sebagai Persamaan Nernst. Namun, persamaan ini juga dapat diperoleh melalui pendekatan termodinamika. Ini berlaku untuk reaksi yang umum.



dapat dituliskan

$$\Delta G = \Delta G^\circ + 2,303 RT \log Q$$

Untuk ΔG dan ΔG° , dapat disubstitusi $-n F E_{\text{sel}}$ dan $-n F E^\circ_{\text{sel}}$

$$-n F E_{\text{sel}} = -n F E^\circ_{\text{sel}} + 2,303 RT \log Q$$

dan, sesudah dibagi dengan $-n F$, didapat,

$$E_{\text{sel}} = E^\circ_{\text{sel}} - \frac{2,303RT}{nF} \log Q$$

Produk dari reaksi dinyatakan sebagai Q , di mana n mewakili jumlah mol elektron yang terlibat dalam reaksi. Nilai $2,303 RT/nF$ pada suhu 298 K menjadi $0,0592/n$. Secara keseluruhan, persamaan Nernst berbentuk

$$E_{\text{sel}} = E^\circ_{\text{sel}} - \frac{0,0592}{n} \log \frac{(a_G)^g (a_H)^h \dots}{(a_A)^a (a_B)^b \dots}$$

Dalam metode substitusi aktivitas, nilai $a = 1$ digunakan untuk bahan padat dan cair murni, $a =$ tekanan parsial (atm) untuk gas, dan $a =$ molaritas konsentrasi komponen dalam larutan.

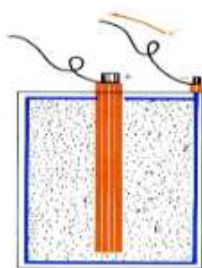
9.5 Baterai: Menghasilkan Listrik melalui Reaksi Kimia

Reaksi di mana $\Delta G < 0$ menunjukkan kemampuan untuk melakukan kerja bermanfaat yang menghasilkan listrik dari sel volta adalah salah satu cara utama untuk mendapatkan intisari dari kerja bermanfaat. Ini dikenal sebagai bahan reaktan dalam sel volta, menyimpan energi kimia yang bisa diakumulasi dan kemudian dibebaskan dalam bentuk listrik sesuai kebutuhan. Alat yang biasanya digunakan sebagai baterai memiliki kemampuan untuk menyimpan energi kimia dan kemudian dapat dilepaskan sebagai

sumber daya listrik ketika dibutuhkan. Terdapat tiga variasi baterai yang dapat digunakan.

1. Saat sebagian besar bahan reaktan mengalami transformasi menjadi produk akhir, reaksi sel primer tidak dapat dibalik. Baterai "mati", yang berarti tidak ada lagi produksi listrik.
2. Baterai tipe sekunder: reaksi sel bisa diinvert ketika arus listrik mengalir melalui baterai. Ini mengizinkan baterai untuk digunakan berulang-ulang hingga ratusan kali.
3. Baterai alir dan sel bahan bakar: Baterai adalah pengubah elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik setelah mengeluarkan materi (reaktan, produk, atau elektrolit).

Sel Leclanché, juga dikenal sebagai sel kering. Baterai yang paling umum dari semua baterai adalah baterai senter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.6.



Sel Leclanché (sel kering).

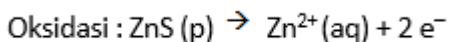
C : batang karbon yang berfungsi sebagai katoda, terjadi reaksi reduksi.

Z : wadah dari seng yang berfungsi sebagai anoda, terjadi reaksi oksidasi.

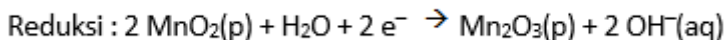
E : elektrolit, pasta lembab dari MnO_2 , ZnCl_2 , NH_4Cl , dan karbon hitam.

Gambar 9.6. sel Leclanché (Sel Kering)

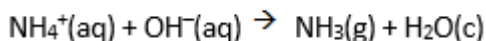
Baterai ini memiliki grafit yang direduksi dan anoda seng yang dioksidasi. Elektrolit terdiri dari pasta lembab yang terdiri dari MnO_2 , ZnCl_2 , NH_4Cl , karbon hitam, dan karbon hitam. Baterai dengan voltase maksimum 1,55 V disebut sel "kering" karena tidak memiliki cairan bebas. Sebagian dari reaksi anoda, atau oksidasi, adalah:



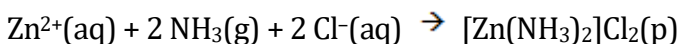
Karena melibatkan penurunan MnO_2 menjadi berbagai senyawa yang mengandung Mn pada bilangan oksidasi +3, seperti Mn_2O_3 , reaksi reduksinya lebih kompleks.



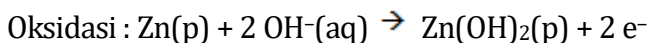
Reaksi asam – basa terjadi antara OH^{-} dengan NH_4^{+} dari NH_4Cl .



Karena akan mengganggu arus, pembentukan $\text{NH}_3(\text{g})$ di sekitar katoda tidak boleh terjadi. Reaksi antara Zn^{2+} dan $\text{NH}_3(\text{g})$ mencegah pembentukan ion kompleks $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$. Ion ini kemudian mengkristal menjadi garam klorida.

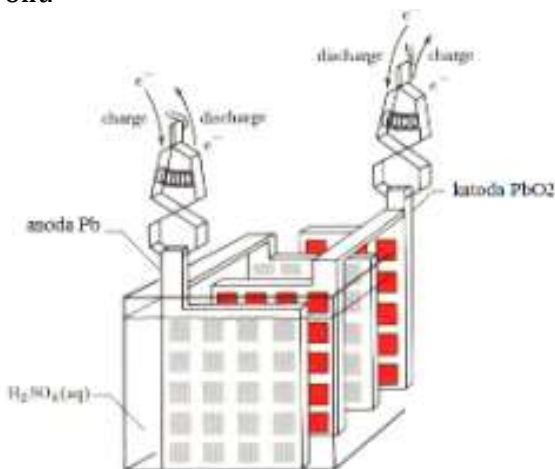


Tidak mungkin untuk membalikkan beberapa reaksi karena sel Leclanché adalah sel primer. Ada dua masalah utama terlepas dari kenyataan bahwa produksi sel Leclanché tidak mahal. Yang pertama adalah bahwa produk seperti $\text{NH}_3(\text{g})$ akan terbentuk pada elektroda ketika arus diambil secara cepat dari sel, menyebabkan volt menurun. Kelemahan yang kedua adalah bahwa laun logam seng akan terlarut dengan cepat karena media elektrolit asam. Baterai alkalin yang menggunakan NaOH atau KOH sebagai elektrolit daripada NH_4Cl adalah bentuk sel Leclanché yang lebih baik. Sebuah reaksi oksidasi menghasilkan $\text{Zn}(\text{OH})_2(\text{p})$, meskipun setengah reaksi reduksi pada inti adalah sama.



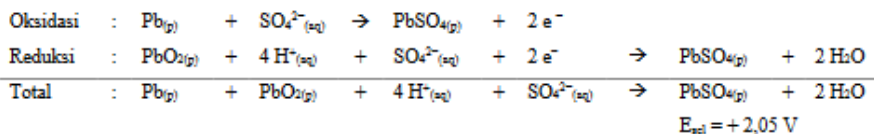
Karena seng berada dalam media basa, baterai alkalin tidak memungkinkan seng untuk terlarut. Selain itu, baterai alkalin lebih baik memelihara volt sebagai arus yang diambil melaluinya..

Baterai Pb adalah jenis baterai yang digunakan untuk menyimpan kendaraan bermotor karena menghasilkan asam. Elektrodanya terdiri dari lempengan aloy antimoni Pb, anodanya terdiri dari busa Pb logam, dan katodanya terdiri dari dioksida Pb merah-coklat. Asam sulfat encer adalah elektrolit.



Gambar 9.7. Sel Pb – Asam (sel penyimpanan)

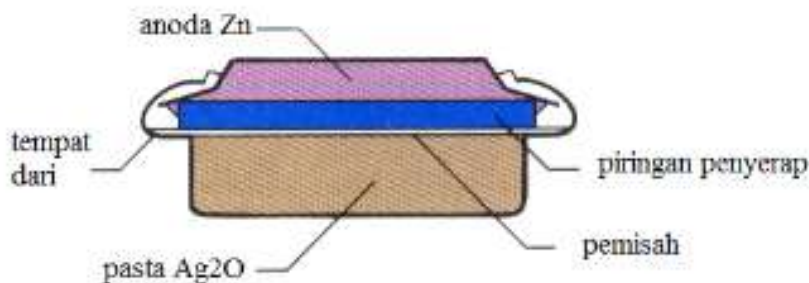
Ketika sel yang ditunjukkan pada Gambar 9.7 digunakan sebagai sumber arus, dua setengah reaksi akan menghasilkan Pb^{2+} . Pb^{2+} ini akan digabungkan dengan SO_4^{2-} dari larutan untuk menghasilkan endapan $PbSO_4(p)$.



Jika lempengan tertutup sebagian dengan $PbSO_4(p)$, elektron dapat dipaksa mengalir ke arah yang sebaliknya untuk membuatnya berarus kembali. Namun, jika baterai terhubung ke sumber energi luar, hal yang sebaliknya terjadi: elektron akan

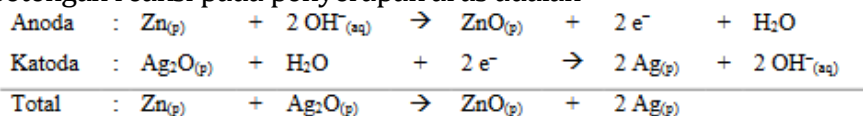
mengencerkan elektrolit dengan air. Kelompok anoda dan katoda terhubung secara listrik untuk mencegah arus pendek karena materi penyekat memisahkan selang seling lempengan anoda dan katoda. Kontak "paralel" meningkatkan kontak antara daerah elektroda dengan larutan elektrolit, membantu sel mengirimkan arus dengan lebih baik. Baterai dibuat dengan memasukkan sel ke dalam model "seri". Sementara baterai 6 V memiliki tiga sel, baterai 12 V memiliki enam sel.

Diagram sel dari baterai perak dan seng adalah
 $\text{Zn}, \text{ZnO(p)} \mid \text{KOH (jenuh)} \mid \text{Ag}_2\text{O(p)}, \text{Ag}$



Gambar 9.8. Sel Kancing Ag -Zn (miniatur)

Setengah reaksi pada penyerapan arus adalah



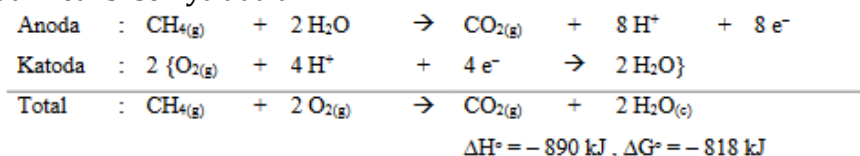
Jumlah elektrolit yang dapat dipertahankan sangat sedikit karena reaksi tidak mengandung semua spesies larutan. Elektroda dapat diatur dengan jarak yang sangat sempit, mirip dengan cara sel disimpan dalam kondisi yang hampir kering. Bateri sel perak-seng sangat bermanfaat karena sel asam Pb sekitar enam kali lebih kecil

daripada sel Ag-Zn. Alat bantu dengar, kamera, kalkulator, dan jam tangan adalah beberapa aplikasi dari mini-baterai ini.

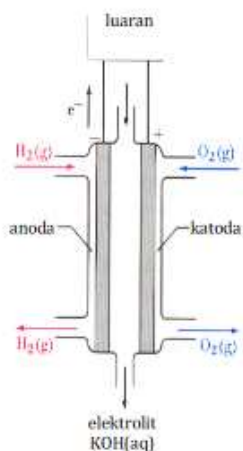
Sel bahan bakar: Selama hampir 200 tahun, orang telah berpikir tentang cara mengubah energi kimia menjadi energi listrik secara langsung. Sel voltase dapat menghasilkan energi listrik dengan efisiensi sekitar 90%, sementara pembangkit listrik menggunakan uap dengan efisiensi hanya 30–40%. Proses berikut terjadi dalam sel bahan bakar:

bahan bakar + oksigen → hasil-hasil oksida

Kalau diterapkan pada gas alam (metana), setengah reaksi dan reaksi selnya adalah

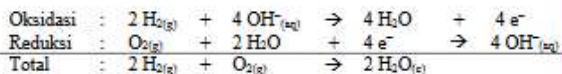


Angka efisiensi, $\varepsilon = \Delta \text{G}^\circ / \Delta \text{H}^\circ$, sering digunakan untuk menunjukkan potensi penggunaan dari reaksi sel bahan bakar. Untuk nilai efisiensi metana, $\varepsilon = -818 \text{ kJ} / -890 \text{ kJ} = 0,92$. Namun, karena sulitnya menemukan elektroda yang mampu mendukung setengah reaksi dengan kerapatan arus yang tinggi sambil tetap mempertahankan potensial sel, bahan bakar metana masih belum diperkenalkan dalam skala komersial. Grafik yang menggambarkan salah satu bahan bakar sel yang paling sederhana dan efektif, yaitu $\text{H}_2(\text{g})$ dan $\text{O}_2(\text{g})$, menunjukkan terbentuknya air.



Skema (yang menggambarkan sel bahan bakar hidrogen-oksigen).

Dalam media alkalin (misal, KOH 25%) reaksi yang terjadi

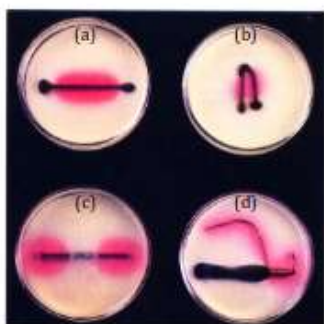


Gambar 9.9. Skema (yang menggambarkan sel bahan bakar hidrogen-oksigen)

Tidak seperti baterai, sel bahan bakar mengubah energi menjadi listrik selama ada bahan bakar dan $\text{O}_2(\text{g})$. Gambar 9.9 menunjukkan sel bahan bakar yang berdasarkan reaksi yang dapat digunakan sebagai sumber energi untuk pesawat ruang angkasa. Sel ini tidak dibatasi oleh kapasitas seperti yang dimiliki oleh baterai primer, namun juga tidak memiliki kemampuan penyimpanan seperti yang dimiliki oleh baterai sekunder. Pembentukan hidrogen dan karbon dioksida dari minyak bumi dan batu bara serta oksidasi gas ini dalam sel bahan bakar adalah contoh penggunaan tambahan. Ini telah digunakan oleh beberapa pembangkit tenaga listrik komersial. Menariknya, sel yang menggunakan hidrogen atau oksigen sebagai bahan bakar telah ada sejak tahun 1842. Karena tantangan dalam mengembangkan elektroda yang mampu mengalihkan energi dengan efisien, sel ini tidak pernah diciptakan hingga masuk abad ke-19.

9.6 Korosi: Sel Volta yang tidak diinginkan

Dalam baterai, yang merupakan sumber penting listrik, telah dibahas manfaat reaksi reduksi-oksidasi. Korosi menghasilkan reaksi yang serupa, tetapi tidak diinginkan. Pertama, teori elektrokimia korosi akan dipelajari. Setelah itu, teori ini akan diterapkan untuk mengontrol korosi.



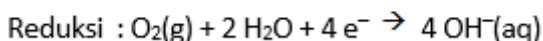
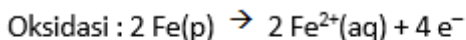
Gambar 15-10

Korosi dan Metoda Pencegahan Korosi.

Korosi (oksidasi) pada paku besi ditandai dengan endapan biru. Korosi terjadi pada daerah yang memiliki ketegangan: (a) pada ujung dan pangkal dan (b) pada lekukan. Selain itu, (c) kontak dengan seng akan mencegah paku mengalami korosi, sedangkan (d) kontak dengan tembaga tidak mencegah paku mengalami korosi.

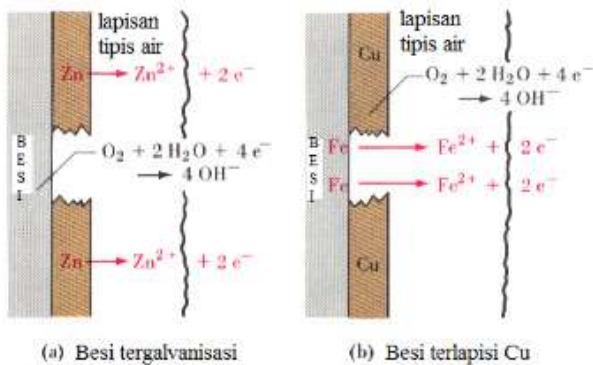
Gambar 9.10. Korosi dan Metoda Pencegahan Korosi

Proses dasar korosi pada sebuah paku besi digambarkan pada Gambar 9.10. Paku besi diletakkan di atas gelatin yang dicampur dengan air atau agar-agar. Fenolftalen, indikator asam-basa dan senyawa kalium ferisianida, $K_3[Fe(CN)_6]$, juga ditemukan dalam agar-agar. Ada endapan biru tua di pangkal dan ujung paku, dan ada agar-agar berwarna merah muda di sepanjang batang paku. Ada besi, menurut endapan biru Turnbull (II). Tentu saja, fenolftalen memberikan warna merah muda pada larutan basa. Dua setengah reaksi penting dihasilkan dari temuan ini.



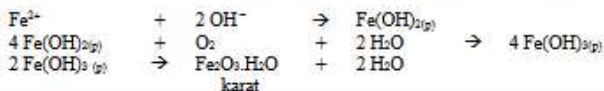
Gambar 9.10 (a) menunjukkan proses oksidasi yang terjadi pada pangkal dan ujung paku yang telah korosi. Batang paku

melepaskan elektron melalui proses oksidasi, yang menghasilkan penurunan jumlah oksigen terlarut. Gambar 9.10 (b) menunjukkan lekukan (bagian yang dibengkokkan), pangkal, dan ujung paku yang mengalami oksidasi, yang merupakan hasil reduksi fenolftalen. Karena logam yang memiliki potensial lebih tinggi (lebih anodik) daripada logam lainnya, bagian yang berisi logam tersebut akan mengalami oksidasi. Karena oksida besi dan karat adalah bahan yang rapuh dan mudah pecah, permukaan beberapa logam, seperti aluminium, memiliki hasil korosi yang kuat yang melindunginya dari korosi lebih lanjut. Aluminium dianggap memiliki masa pakai yang praktis tak terbatas, sementara besi cenderung mengalami pelapukan lebih cepat dalam lingkungan. Penggunaan cat atau pelapis tahan air lainnya bisa berperan dalam melindungi permukaan logam dari korosi selama langkah-langkah pencegahan dan pelapisan anti-korosi. Endapan biru menunjukkan korosi (oksidasi) paku besi. Ini terjadi pada zona tekanan, (a) pada titik awal dan akhir, serta (b) pada area yang melengkung. Selain itu, sentuhan (c) dengan seng mampu mencegah korosi paku, sedangkan sentuhan (d) dengan tembaga tidak memiliki efek yang serupa. Pelindung tidak rusak atau menjadi kotor. Dengan menggunakan lapisan tipis, permukaan logam dapat dilindungi dari korosi tambahan. Besi dapat dicelupkan ke dalam lelehan logam atau dilapisi dengan tembaga dengan elektroplating. Selama proses kedua, permukaan logam tetap terlindungi oleh lapisan. Logam mengalami reaksi oksidasi karena lebih aktif daripada timah dan tembaga. Sebaliknya, lapisan pelindung mengalami penurunan setengah reaksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.10 (d) dan 9.11 (b). Lapisan logam akan pecah dan permukaannya akan mengalami korosi.



Perlindungan Besi Terhadap Korosi Elektrolitik.

Pada reaksi anoda (oksidasi), logam yang lebih mudah teroksidasi akan melepas elektron menghasilkan ion logam. Pada Gambar 15-11 (a) logam tersebut adalah seng, pada Gambar 15-11 (b) logam tersebut adalah besi. Pada reaksi katoda (reduksi), gas oksigen, yang terlarut dalam lapisan tipis air yang terserap, direduksi menjadi ion hidroksida. Korosi besi tidak terjadi pada (a), akan tetapi terjadi pada (b).



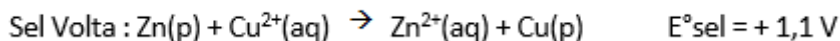
Gambar 9.11. Perlindungan Besi Terhadap Korosi Elektrolitik.

Keadaan seng (Zn) yang dilapisi berbeda dari besi. Jika lapisan seng pecah, besi tetap aman. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.10 (c) dan 9.11 (a), seng akan teroksidasi lebih cepat daripada besi, dan hasil korosi melindungi seng dari lebih banyak korosi. Metode ekstra dapat diterapkan untuk melindungi baja pada permukaan yang meluas. Ini meliputi penggunaan pada kapal, tangki penyimpanan, pipa pengiriman, serta saluran pipa air minum. Ini termasuk berinteraksi langsung dengan potongan logam seperti seng, magnesium, aluminium, atau logam aktif lainnya melalui kawat atau secara langsung. Selama logam aktif ada, permukaan besi akan dilindungi karena memperoleh elektron dari oksidasi logam aktif. Selain itu, logam aktif berfungsi sebagai katoda

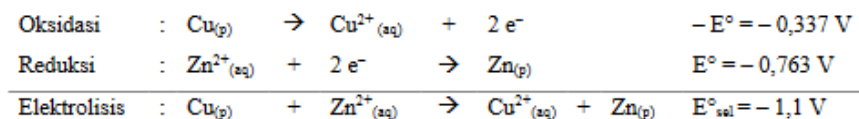
dan berfungsi sebagai setengah dari reaksi reduksi. Jenis proteksi ini disebut proteksi katodik, dan anodanya adalah logam aktif.

9.7 Elektrolisis: Perubahan Kimia yang tidak Spontan

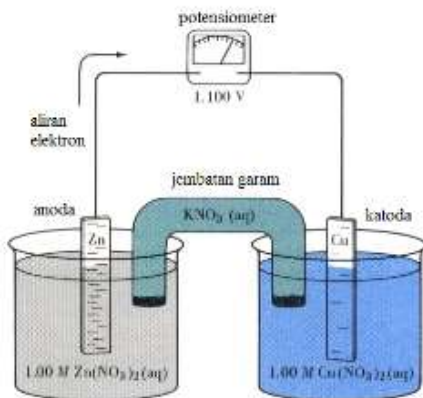
Kembali ke sel elektrokimia, yang terdiri dari setengah sel Zn/Zn^{2+} dan Cu^{2+}/Cu seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 9.4. Ketika sel beroperasi secara spontan, arus elektron mengalir dari seng ke tembaga, dan semua perubahan kimia yang berlangsung dalam sel volta adalah :



Misalkan sel yang sama terhubung ke sumber energi listrik dengan volt yang lebih besar dari 1,1 V. Sumber energi listrik ini dapat berupa pembangkit listrik atau baterai. Misalkan hubungan ini terjadi: elektron dipaksa masuk ke elektroda seng dari elektroda tembaga dan kemudian kembali ke elektroda seng. Seperti yang ditunjukkan di bawah ini, E° sel adalah negatif dan reaksi sel volta adalah kebalikan dari reaksi total.



Ketika reaksi sel dibalik dengan membalik arah aliran elektron, sel volta berubah menjadi sel elektrolisis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.12.



Gambar 15-12

Reaksi $\text{Cu(s)} + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn(s)}$ terjadi dalam sel elektrolitik. Reaksi disini kebalikan dari yang terjadi dalam sel volta seperti pada Gambar 15-4. Arah aliran elektron dibalik. Elektroda seng menjadi katoda dan elektroda tembaga menjadi anoda.

Gambar 9.12. Reaksi $\text{Cu(p)} + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn(p)}$

Hukum Faraday untuk Elektrolisis: Michael Faraday (1791-1867) membuat dua pernyataan berikut, yang menciptakan dasar kuantitatif dari reaksi elektrolisis.

1. Jumlah muatan listrik yang melewati sel elektrolisis sebanding dengan jumlah perubahan kimia yang dibuat.
2. Jumlah ekivalen setiap senyawa yang sama dibuat dengan jumlah listrik tertentu.

Dalam setengah reaksi, satu senyawa ekivalen berikatan dengan satu mol elektron. Satu coulomb muatan per detik (C/det) ditunjukkan oleh satu amper (A) arus listrik. Total muatan yang dipindahkan ditentukan oleh kali arus dan waktu.

Muatan (C) = arus (C/detik) x waktu (detik).

Tetapan Faraday digunakan untuk melakukan perhitungan dalam proses elektrolisis, di mana 96.500 coulomb per mol elektron dihasilkan dari jumlah muatan dan jumlah mol elektron.

DAFTAR PUSTAKA

Petrucci, R. H. 1993. General Chemistry, Principles and Modern Application Fourth Edition. Jakarta: Erlangga

BAB 10

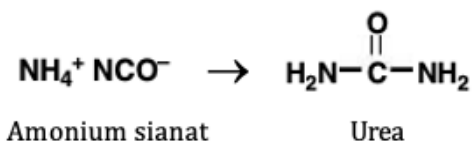
KIMIA ORGANIK

Oleh Henny Parida Hutapea

10.1 Pendahuluan

Kimia organik merupakan komponen dari ilmu kimia yang sering ditemui di sekitar lingkungan kita. Hampir semua barang yang diproduksi baik kebutuhan pokok, sekunder maupun tersier terkandung senyawa-senyawa organik. Industri makanan dan minuman, industri tekstil, industri farmasi, industri bahan bakar dan masih banyak lagi mengandung senyawa organik.

Penamaan kimia "organik" bermakna kata organisme atau benda hidup. Di abad ke-18 kimiawan terdahulu mempercayai bahwa senyawa organik berasal dari benda hidup saja (*vital force*) dan tidak dapat diciptakan di laboratorium sehingga hanya dapat ditemui di alam. Transformasi terjadi di tahun 1828, kimiawan jerman Friedrich Wöhler menemukan senyawa organik Urea (komponen dari urine) dari senyawa anorganik Amonium Sianat yang terbentuk setelah di uapkan lama. Sejak itu, teori konsep *vital force* tidak lagi dapat diterima dan kredibel, para kimiawan dapat menciptakan senyawa organik di laboratorium. (Okuyama and Maskill, 2014).



Kimia organik merupakan bagian studi yang mendalami kimia tentang bentuk molekul, sifat-sifat, susunan struktur, reaksi dan sintesis senyawa organik (Subandi, 2010). Unsur dasar dari

senyawa organik adalah karbon dan hidrogen, juga bisa terkandung unsur tambahan lainnya misal oksigen, nitrogen, dan unsur golongan IV A (halogen: F, Cl, Br, I). Unsur karbon adalah unsur utama dari senyawa organik, sehingga lebih sering disebut dengan senyawa organik.

10.2 Struktur dan Ikatan Senyawa Organik

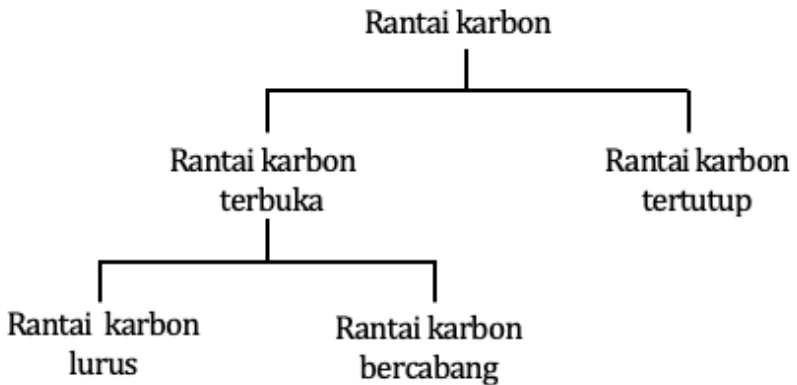
Secara umum, senyawa organik memiliki struktur kompleks yang banyak kita temukan di alam maupun dapat dibuat secara sintetis di laboratorium. Salah satu ciri utama senyawa organik adalah kemampuannya untuk membentuk rantai karbon yang panjang dan beragam, yang kemudian membentuk rangkaian molekul yang berbeda, dengan sidat dan fungsi yang juga berbeda. Senyawa-senyawa organik banyak kita temui dalam industri, kedokteran, farmasi, mikrobiologi, bahan kimia lainnya.

Banyak sekali senyawa-senyawa yang tergolong senyawa organik diantaranya adalah dalam tubuh manusia, hewan dan tumbuhan, seperti karbohidrat, protein, lemak, dalam industri petrokimia seperti solar, aspal, bensin, minyak tanah dan gas alam, minyak *essensial oil*, industri farmasi seperti obat-obatan, kosemetik, industri tekstil seperti serat dan kain dan lainnya (Sardjono, 2014).

10.2.1 Pengenalan Karakteristik Atom Karbon

Konfigurasi elektron dari atom karbon ${}_6\text{C}$ adalah 2 4. Atom C berada di golongan IV A dan periode 2 dalam tabel periodik unsur. Atom karbon terdiri dari enam elektron yang konfigurasi elektronnya: $1s^2 2s^2 2p^2$, ikatan kovalen dapat terbentuk karena mempunyai 4 elektron valensi (Roberts, Stewart and Caseri, 1971).

Rantai karbon dapat dikelompokkan sebagai berikut :



Gambar 10.1. Klasifikasi rantai karbon
Sumber: (Abbas, 2021)

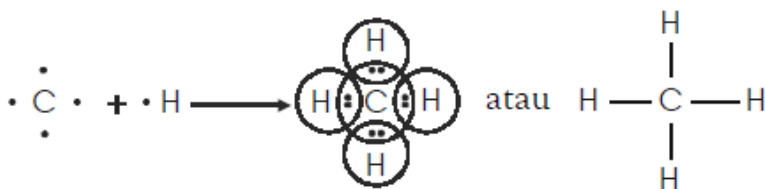
Keadaan atom karbon ini menjadikan atom karbon memiliki keunikan sebagai berikut:

1. Terdapat empat elektron valensi

Sebuah atom karbon mempunyai empat elektron valensi, memerlukan empat elektron tambahan untuk menjadi oktet. Rumus lewis atom karbon ditunjukkan pada Gambar 10.2. Metana (CH_4) terbentuk dari satu atom karbon berikatan kovalen bersama atom hidrogen.



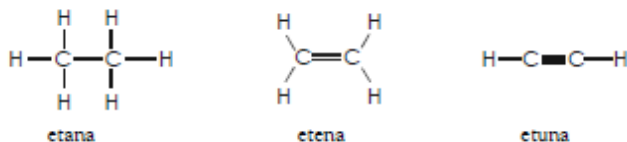
Rumus Lewis untuk atom karbon



Gambar 10.2. Rumus lewis atom karbon
Sumber: (Sunarya, 2010)

2. Unsur karbon relatif kecil

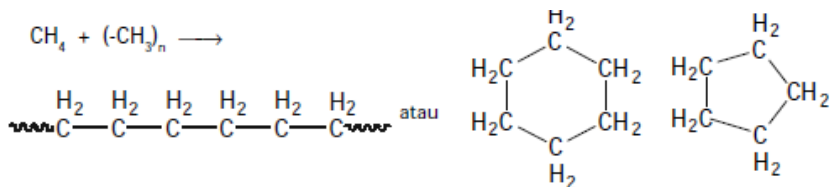
Atom karbon terdapat pada posisi periode 2 dalam tabel periodik unsur, memiliki 2 kulit atom, yang menjadikan jari-jari atom pada atom karbon kecil. Ini menyebabkan terbentuknya ikatan kovalen yang relatif kuat serta mudah membentuk ikatan kovalen ganda.



Gambar 10.3. Ikatan kovalen atom karbon
Sumber: (Robert and Caserio, 1977)

3. Dapat membentuk rantai karbon

Kemampuan terbentuknya ikatan dengan atom karbon lainnya menjadi keberagaman struktur dari senyawa karbon, baik berupa rantai panjang ataupun rantai siklik.



Gambar 10.4. Ikatan rantai panjang dan siklis atom karbon
Sumber: (UAO, 2022)

4. Posisi kedudukan berbeda rantai karbon

Secara ringkas posisi kedudukan keterikatan atom karbon dengan atom karbon lainnya dapat dilihat pada Gambar 10.5.

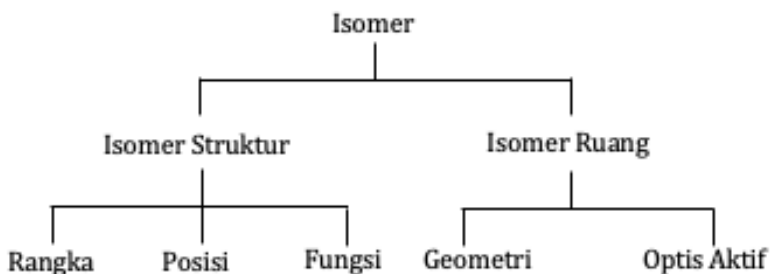


Gambar 10.5. Kedudukan atom-atom karbon
Sumber : (McMurry, 2011)

10.2.2 Isomer

Membentuk rantai karbon merupakan suatu kemampuan dari atom karbon. Selain itu alasan lain pembentukan senyawa karbon adalah terbentuknya isomer. Isomer didefinisikan sebagai senyawa dengan rumus molekul sama tetapi rumus struktur berbeda. Senyawa isomer memiliki sifat berbeda-beda (Robert and Caserio, 1977).

Isomer diklasifikasikan sebagai berikut :



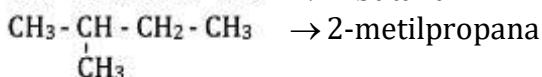
Gambar 10.6. Klasifikasi isomer
Sumber: (Geek, 2021)

1. Isomer Struktur

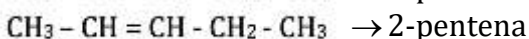
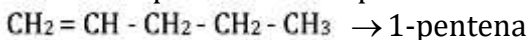
Isomer struktur dibedakan menjadi 3 jenis yaitu (McMurry, 2011):

- a. Isomer Rangka merupakan senyawa dengan identik terdapat kesamaan rumus molekul sebaliknya terdapat perbedaan terkait struktur kerangkanya.

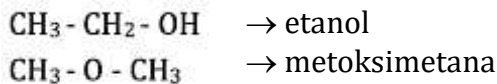
Contoh: n-butana dan 2-metilpropana.



- b. Isomer Posisi merupakan senyawa dengan identik terdapat persamaan pada rumus molekul sebaliknya terdapat perbedaan terkait posisi gugus fungsinya. Contoh: 1-pentena dan 2-pentena.



- c. Isomer Fungsi merupakan senyawa yang wujud kerangka sama tetapi ikatan rangkap berbeda. Contoh: etanol dan metoksimetana mempunyai rumus molekul $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, tetapi etanol termasuk golongan alkohol, metoksimetana termasuk golongan eter.



2. Isomer Ruang

Ciri dari isomer ruang adalah pengaturan/konfigurasi yang berbeda dalam ruang (rumus molekul dan susunan atom sama) dibagi 2 yaitu:

a. Isomer Geometri (cis-trans)

- Isomer cis apabila gugus yang sama dari suatu ikatan rangkap C dengan kedudukan sejajar.
- Isomer trans apabila gugus yang sama dari suatu ikatan rangkap C dengan kedudukan berlawanan.

Contoh: cis-2-butena dan trans-2-butena.

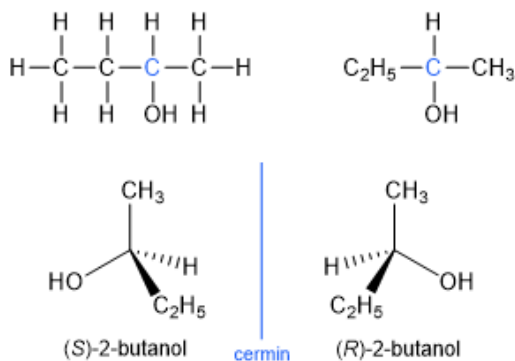


Gambar 10.7. Isomer geometris 2-butena

Sumber : (McMurry, 2011)

- ### b. Isomer Optis Aktif
- merupakan senyawa yang atom karbonnya berikatan dengan keempat atom dengan keelektronegatifan tidak sama (Prasojo, 2011).

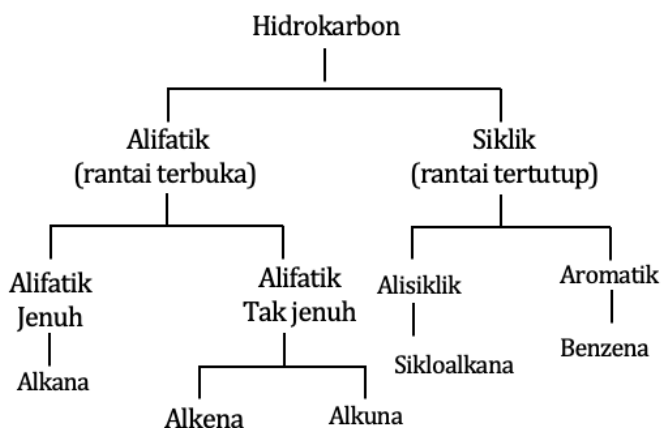
Contoh: 2- butanol, atom karbon nomor ke-2 berikatan dengan empat atom yang berbeda: $-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{H}$, $-\text{CH}_3$ dan $-\text{OH}$.



Gambar 10.8. Isomer optis aktif 2-butanol
 Sumber : (Takeuchi, 2006)

10.3 Hidrokarbon

Karbon dan hidrogen merupakan dua atom yang terkandung dalam senyawa organik (Pasteur, 1994). Secara ringkas klasifikasi hidrokarbon dirangkum dibawah ini.



Gambar 10.9. Klasifikasi hidrokarbon
 Sumber : (Roni and Legiso, 2021)

10.3.1 Senyawa Alifatik

Rantai lurus atau bercabang merupakan ciri khas yang terdapat pada senyawa organik. Senyawa alifatik yang rantai karbonnya berikatan tunggal disebut senyawa alifatik jenuh (alkana). Sedangkan senyawa alifatik yang rantai karbonnya rangkap dua (alkena) atau rangkap tiga (alkuna) disebut senyawa alifatik tak jenuh (Morsh *et al.*, 2010).

1. Alkana

Hidrokarbon yang bercirikan rantai karbon lurus dengan ikatan tunggal. Rumus umumnya: C_nH_{2n+2} ; (n = bilangan bulat). Terdapat dua penamaan dari alkana yaitu sistem penamaan **trivial** (nama umum) yang hanya dari namanya saja tidak dapat mengetahui rumus dari persenyawaannya sehingga struktur dan nama harus dihafalkan dan sistem penamaan **IUPAC** (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), suatu organisasi yang memperbaiki dan memperbaharui penamaan ini secara terus menerus. Deretan penamaan untuk rantai lurus pada alkana terdapat pada Gambar 10. 10 dibawah ini.

CH_4 (Metana)	C_2H_6 (Etana)	C_3H_8 (Propana)	C_4H_{10} (Butana)	C_5H_{12} (Pentana)
C_6H_{14} (Heksana)	C_7H_{16} (Heptana)	C_8H_{18} (Oktana)	C_9H_{20} (Nonana)	$C_{10}H_{22}$ (Dekana)

Gambar 10.10. Rumus molekul dan penamaan alkana
Sumber: (Liu, 2008)

Tata Nama Alkana

Nama dari alkana rantai lurus pada Gambar 10.10 menjadi dasar dari sistem nomenklatur IUPAC. Berdasarkan aturan IUPAC (McMurry, 2023) :

- a. Nama utama dari alkana dengan rantai bercabang ditetapkan dari rantai paling panjang atom karbonnya. Rantai terpanjang dinamakan rantai induk.
- b. Cabang dari rantai induk dinamakan *gugus alkil*. Penamaan gugus alkil dari penamaan alkana, tetapi mengubah huruf akhir -ana jadi -il. Sebagai contoh butana menjadi butil dan seterusnya.
- c. Penomoran terkecil diberikan pada gugus alkil yang terikat di rantai induk.
- d. Jika ada dua atau lebih gugus alkil yang sama, penamaan ditambahkan kata sebelum gugus misal di, tri, tetra dan seterusnya. Sebagai contoh: dietil apabila ditemukan 2 gugus etil dalam rantai karbon alkana.
- e. Jika didapati dua lebih cabang alkil berbeda, penamaan tiap cabang diurutkan berdasarkan alfabet.
- f. Pemberian garis sebagai pemisah antara penomoran posisi dan penamaan gugus, contoh 4-propil, 6-butil dan seterusnya. Nama gugus alkil dan nama rantai induk tidak diberi spasi, contoh: metilbutana tidak metil butana. Jika terdapat dua atau lebih nomor berurutan, penomoran diberi tanda koma sebagai pemisah, contoh 2,2-dimetil, 1,3,4-trietil dan seterusnya.

2. Alkena

Hidrokarbon alifatik tak jenuh dengan bercirikan memiliki satu ikatan rangkap dua (-C=C-). Terdapat pula alkena yang memiliki dua ikatan rangkap dua (alkadiena), tiga ikatan rangkap dua (alkatriena) dan seterusnya. Rumus umum alkena : C_nH_{2n} (McMurry, 2016).

Tata Nama Alkena

- a. Penamaan alkena merupakan turunan dari penamaan alkana mengubah huruf akhir -ana jadi -ena.
- b. Rantai induk dari penamaan alkena ialah rantai paling panjang yang mempunyai ikatan rangkap.
- c. Nomor terkecil yaitu atom C terpanjang dan terdapat atom C yang berikatan rangkap dua.
- d. Penamaan alkena yang memiliki cabang sama halnya dengan penamaan alkana.

3. Alkuna

Hidrokarbon yang bercirikan memiliki satu ikatan rangkap tiga ($\text{-C}\equiv\text{C-}$). Terdapat pula alkuna yang memiliki dua ikatan rangkap tiga (alkadiuna) serta satu ikatan rangkap dua dan satu ikatan rangkap tiga (alkenuna). Rumus umumnya: $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ (Vollhardt and Schore, 2012).

Tata Nama Alkuna

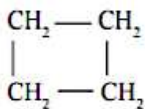
- a. Penamaan alkuna merupakan turunan dari penamaan alkana dengan mengubah huruf akhir -ana pada alkana menjadi -una.
- b. Penamaan alkuna yang memiliki cabang sama halnya dengan penamaan alkana dan alkena.

10.3.2 Senyawa Siklik

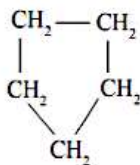
Senyawa karbon yang memiliki satu atau lebih rantai tertutup. Senyawa siklik terbagi menjadi dua jenis yaitu alisiklik dan aromatik (Clayden, Greeves and Warren, 2012).

1. Senyawa Alisiklik

Senyawa dicirikan dengan adanya satu rantai tertutup yang terdiri dari tiga atau lebih atom karbon. Contoh : siklobutana dan siklopentana.



siklobutana

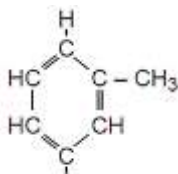


siklopentana

2. Senyawa Aromatik

Senyawa dicirikan dengan adanya rantai tertutup yang terdiri dari 6 atom karbon ikatan tunggal atau ganda yang selang-seling, yang sering disebut dengan benzena.

Contoh : toluena



Metil benzena (toluena)

10.4 Gugus Fungsi

Atom ataupun kelompok atom dengan penempatan terstruktur yang menentukan karakteristik dan sifat senyawa. Jenis-jenis gugus fungsi diantaranya sebagai berikut (Clayden, Greeves and Warren, 2012):

1. Gugus fungsi -OH

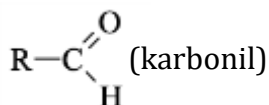
Struktur alkohol didapatkan dari mengubahkan satu atom H pada alkana dengan gugus -OH. Rumus molekulnya **R-OH** (hidroksil), dimana gugus alkil adalah R dan rumus umumnya: **C_nH_{2n+2}O**, (n= bilangan bulat). Contoh: CH₄O atau CH₃OH (metanol/metil alkohol).

2. Gugus fungsi -O-

Eter terbentuk dari Dua alkil dengan oksigen yang digabungkan. Rumus molekulnya **R-O-R'** (alkoksi). Rumus umum: **C_nH_{2n+2}O**. Contoh: CH₃ - O - CH₃ (metoksi metana/dimetil eter)

3. Gugus fungsi -CHO

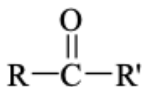
Terdapat gugus karbonil berikatan dengan satu atom hidrogen, gugus aldehyd berada pada ujung dalam satu rantai karbon. Nama aldehyd turunan dari nama alkana dengan mengubahkan huruf akhir -a pada alkana menjadi -al. Rumus umum: **C_nH_{2n}O** dengan rumus molekul seperti dibawah ini.



Contoh: CH₃CH=O (etanal/asetaldehida)

4. Gugus fungsi -CO-

Terdapat dua alkil berikatan dengan satu karbon karbonil. Nama keton turunan dari nama alkana dengan mengubahkan huruf akhir -a pada alkana menjadi -on. Rumus umum: **C_nH_{2n}O** dengan rumus molekul seperti dibawah ini.

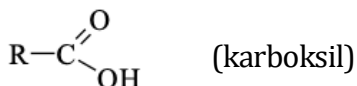


Contoh: CH₃-C-CH₃ (propanon/dimetilketon)

$$\begin{array}{c} \parallel \\ \text{O} \end{array}$$

5. Gugus fungsi -COOH

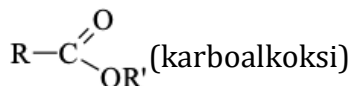
Terdapat gugus karboksil. Nama asam karboksilat turunan dari nama alkana dengan mengganti huruf akhir -a pada alkana menjadi asam -oat. Rumus umum: $C_nH_{2n}O_2$ dengan rumus molekul seperti dibawah ini.



Contoh: CH_3COOH (asam etanoat/asam asetat)

6. Gugus fungsi -COOR

Melepaskan atom H dari gugus karboksil menyebabkan ester memiliki gugus fungsi -COO-. Rumus umum: $C_nH_{2n}O_2$ dengan rumus molekul seperti dibawah ini.



Contoh: CH_3COOCH_3 (metil metanoat/metil format)

7. Gugus fungsi -X

Haloalkana senyawa yang memiliki nama unik. Rumus umum: $C_nH_{2n+1}X$ dengan struktur $R-X$. Gugus X adalah atom halogen yang terdapat golongan VII A.

Contoh: CH_3Cl (klorometana).

10.5 Reaksi Senyawa Organik

Beberapa reaksi penting yang terbentuk dari senyawa organik adalah sebagai berikut (McMurry, 2016).

1. Reaksi Substitusi

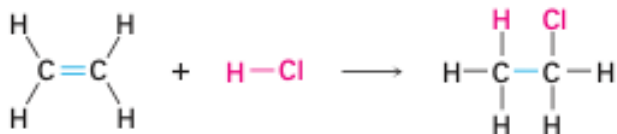
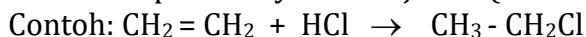
Terjadi penggantian atom atau gugus atom dengan atom atau gugus atom lainnya dalam suatu molekul.

Contoh: $CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$



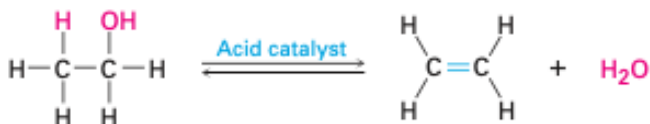
2. Reaksi Adisi

Terjadi dari gabungan dua atau lebih molekul menjadi produk tunggal dari ikatan rangkap. Reaksi seperti ini dapat kita temui pada senyawa tak jenuh (alkena/alkuna).



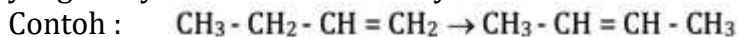
3. Reaksi Eliminasi

Terjadi peralihan ikatan rangkap dari ikatan tunggal. Reaksi ini dapat dianggap lawan dari reaksi adisi.



4. Reaksi Penataan Ulang

Terjadi perubahan satu molekul yang mengalami penyusunan ulang terhadap ikatan-ikatan dan atom-atom yang menyebabkan terbentuknya isomer.





DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A. 2021. *Organic compounds-Classification, Definition and examples*. Available at: <https://themasterchemistry.com/organic-compounds-classification-definition-and-examples/>.
- Clayden, J., Greeves, N. and Warren, S. 2012. *Organic Chemistry: Second Edition*. Oxford University Press. Inc.
- Geek, H. 2021. *Isomerism: Definition, Types, Structural Isomerism*.
- 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.
- Morsh, L. et al. 2010. *Organic Chemistry*. Libretexts.
- Okuyama, T. and Maskill, H. 2014. *Organic Chemistry a mechanistic approach*. Oxford University Press.
- Pasteur, L. 1994. *Organic Chemistry I*. LibreTexts.
- Prasojo, S. L. 2011. *Kimia Organik 1*. Yogyakarta: Rumah Fiqih Publishing.
- Robert, J. D. and Caserio, M. C. 1977. *Basic Principles of Organic Chemistry Second Edition*. W.A. Benjamin. Inc.
- Roberts, J. D., Stewart, R. and Caseri, M. C. 1971. *Organic Chemistry: Methane to Macromolecules*. W.A. Benjamin, Inc.
- Roni, A. K. and Legiso 2021. *Kimia Organik*. Noer Fikri Offset.
- Sardjono, R. E. 2014. 'Konsep - konsep Dasar Kimia Organik', in *Kimia Organik 1*. Universitas Terbuka, pp. 1-60.
- Subandi. 2010. *Kimia Organik*. Dee Publish.
- Sunarya, Y. 2010. *Kimia Dasar 1: Berdasarkan Prinsip-prinsip Kimia Terkini*. CV. Yrama Widya.
- Takeuchi, Y. 2006. *Pengantar Kimia*. Iwanami Publishing Company.

- UAO. 2022. *Pengertian Hidrokarbon dan Contohnya* - *UtakAtikOtak.com*. Available at: <https://www.utakatikotak.com/Pengertian-Hidrokarbon-dan-Contohnya/kongkow/detail/23973> (Accessed: 28 July 2023).
- Vollhardt, P. and Schore, N. 2012. *Organic Chemistry*. Libretexts.

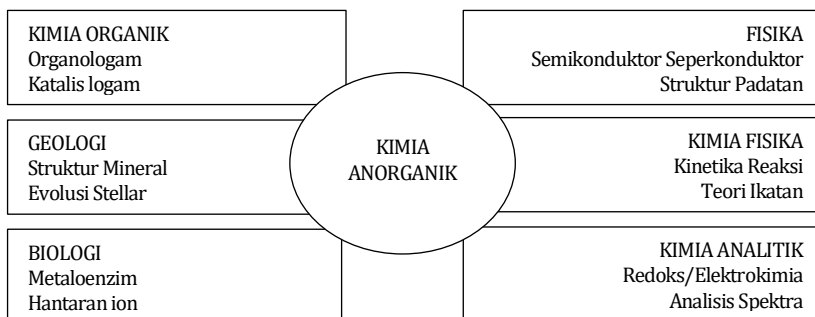
BAB 11

KIMIA ANORGANIK

Oleh Ariani H. Hutuba

11.1 Pendahuluan

Kimia anorganik merupakan cabang ilmu kimia yang mempelajari struktur, sifat, kereaktifan, dan hubungan unsur kimia dan senyawanya. Kimia anorganik telah berkembang ke berbagai disiplin ilmu seperti biologi, fisika, geologi dan bidang ilmu kimia yang lain sehingga bidang yang dikaji juga melibatkan multi disiplin ilmu seperti dijelaskan pada Gambar 11.1.



Gambar 11.1. Ruang Lingkup Kimia Anorganik
(sumber: Geoff, 2000)

Kajian tentang organologam dan katalis logam untuk sintesis kimia organik tidak dapat terlepas dari studi yang melibatkan sifat-sifat logam kimia anorganik. Demikian juga sintesis semikonduktor, super konduktor dan struktur padatan merupakan kombinasi antara ilmu fisika dengan ilmu kimia anorganik. Kimia anorganik juga berkembang dalam ilmu

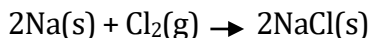
geologi terutama bidang kajian struktur mineral. Kinetika reaksi kimia dan teori ikatan yang banyak dikembangkan dalam ilmu kimia fisika juga merupakan bagaian dari ilmu kimia anorganik terutama yang melibatkan senyawa kompleks unsur-unsur logam.

11.2 Reaksi Anorganik

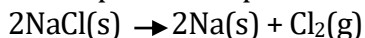
Reaksi anorganik dapat dideskripsikan dengan konsep redoks atau asam basa. Termodinamika dan elektrokimia sangat erat kaitannya dengan analisis reaksi redoks dan asam basa. Teori termodinamika dan elektrokimia dideskripsikan dengan sejumlah persamaan dan rumus yang rumit, hanya beberapa persamaan dan parameter yang diperlukan untuk pemahaman yang mendalam. Pemahaman lebih detail dapat diperoleh dengan memperluas kosep-konsep dasar ini.

11.2.1 Termodinamika Pembentukan Senyawa

Senyawa merupakan produk dari beberapa unsur melalui reaksi kimia. Contohnya, natrium klorida yang dikenal sebagai garam dapur, terbentuk melalui perpaduan logam natrium (sodium) yang bersifat reaktif dengan gas klorin yang beracun. Berdasarkan reaksi:



Reaksi di atas terjadi tanpa melibatkan ‘bantuan’ dari luar, sehingga disebut sebagai reaksi spontan. Meskipun berlangsung spontan, reaksi ini tidak memperlihatkan tanda-anda seberapa cepat atau lambat reaksi berlangsung. Jika mengalami dekomposisi, reaksi di atas akan berlangsung tidak spontan. Salah satu cara untuk mendapatkan padatan natrium dan gas klorin kembali adalah dengan bantuan energi eksternal berupa arus listrik melalui reaksi dekomposisi atau pelelehan natrium klorida:



Untuk memahami materi ini dengan baik, maka perlu mengenal beberapa istilah yang berkaitan dengan pembentukan senyawa-senyawa anorganik.

Entalpi Pembentukan adalah kandungan kalor sistem dalam tekanan tetap, perubahan ΔH bernilai negatif untuk reaksi eksoterm, dan positif untuk reaksi endoterm. Entalpi reaksi standar, ΔH° , adalah perubahan entalpi dari 1 mol reaktan dan produk pada keadaan standar (105 Pa dan 298.15 K). **Entalpi pembentukan standar**, ΔH° , suatu senyawa adalah entalpi reaksi standar untuk pembentukan senyawa dari unsur-unsurnya. Karena entalpi adalah fungsi keadaan, entalpi reaksi standar dihitung dengan mendefinisikan entalpi pembentukan zat sederhana (unsur) bernilai nol. Dengan demikian:

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H^\circ (\text{Produk}) - \sum \Delta H^\circ (\text{Reaktan})$$

Entropi adalah fungsi keadaan, dan merupakan kriteria yang menentukan apakah suatu keadaan dapat dicapai dengan spontan dari keadaan lain. Hukum ke-2 termodinamika menyatakan bahwa entropi, S , sistem yang terisolasi dalam proses spontan meningkat. Dinyatakan secara matematis:

$$\Delta S > 0$$

Proses yang secara termodinamika ireversibel akan menghasilkan entropi. Entropi berkaitan dengan ketidakteraturan sistem dalam termodinamika statistik, menurut persamaan:

$$S = k \ln W$$

k adalah tetapan Boltzmann, dan W adalah jumlah susunan atom atau molekul dalam sistem dengan energi yang sama, dan berhubungan dengan besarnya ketidakteraturan. Dengan meningkatnya entropi, meningkat pula ketidakteraturan sistem.

Energi bebas Gibbs Kuantitas ini didefinisikan dengan:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Reaksi spontan terjadi bila energi Gibbs reaksi pada suhu dan tekanan tetap negatif. Perubahan energi bebas Gibbs standar

berhubungan dengan tetapan kesetimbangan reaksi $A = B$ melalui (House, 2012):

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

K bernilai lebih besar dari 1 bila ΔG_0 negatif, dan reaksi berlangsung spontan ke kanan.

11.2.2 Elektrokimia

Keadaan standar didefinisikan sebagai keadaan pada 25°C (298.15 K), pada keaktifan satu untuk semua zat dalam sel elektrokimia pada sel dengan arus nol pada tekanan 1 bar (105 Pa). Untuk reaksi yang melibatkan ion H^+ , keadaan standar adalah $pH = 0$ (sekitar konsentrasi asam 1 molar). Dalam kasus elektrode hidrogen digunakan sebagai potensial elektrode standar, gas hidrogen 1 atm ($a_{H_2} = 1$) dikontakkan perlahan dengan elektroda platinum-hitam yang dibenamkan dalam larutan asam kuat dengan keaktifan, $a_{H^+} = 1$. Potensialnya diungkapkan sebagai:

$$E = E^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}}{a_{H_2}}$$

dan menurut definisi $E^0 = 0$ dalam keadaan standar. Elektroda hidrogen dalam keadaan standar disebut sebagai **elektrode hidrogen standar** atau NHE. Walaupun potensial reduksi biasanya diungkapkan dengan rujukan NHE standar, elektrode hidrogen sukar ditangani. Oleh karena itu **elektrode kalomel jenuh** atau $Ag/AgCl$ digunakan sebagai elektroda rujukan untuk pengukuran elektrokimia sehari-hari dan potensial percobaan diukur terhadap elektroda ini atau dikonversi pada nilai NHE. Bila nilai NHE diset menjadi 0, nilai SCE 0.242 V, dan $Ag/AgCl$ adalah 0.199 V (Cotton, 1980).

Reaksi redoks terjadi hanya bila pasangan redoks ada dan reaktannya dapat berupa oksidator atau reduktor bergantung pasangan reaksinya. Kemampuan relatif redoksnya dapat diungkapkan secara numerik dengan memberikan potensial

reduksi setengah reaksinya, E^0 (Tabel 11.1). Perubahan energi bebas reaksi berhubungan dengan E^0 ,

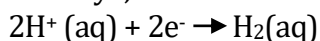
$$\Delta G^0 = nFE^0$$

n adalah jumlah elektron yang diserahterimakan dan f adalah konstanta Faraday, 96500 C.mol⁻¹.

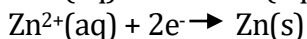
Tabel 11.1. Potensial reduksi standar pada 25°C (Geoff, 2000)

pasangan	E^0/V
$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq)$	+2.87
$H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	+1.77
$Ce^{4+}(aq) + e^- \rightarrow Ce^{3+}(aq)$	+1.72
$MnO_2^-(aq) + 8H^+(aq) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 4H_2O(l)$	+1.51
$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(aq)$	+1.36
$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	+1.23
$Br_2(l) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(aq)$	+1.09
$Fe^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(aq)$	+0.77
$AgCl(s) + e^- \rightarrow Ag(s) + Cl^-(aq)$	+0.22
$Cu^{2+}(aq) + e^- \rightarrow Cu^+(aq)$	+0.15
$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(aq)$	0
$Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn(s)$	-0.14
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	-0.45
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$	-0.76
$Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Al(s)$	-1.66
$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$	-2.37
$Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$	-2.71
$Li^+(aq) + e^- \rightarrow Li(s)$	-3.04

Misalnya, untuk dua reaksi



$$\Delta G^0 = nFE^0$$



$$\Delta G^0 = nFE^0$$

Tidak berlangsung bebas, tetapi bila $H^+(aq)$ dan $Zn(s)$ ada, reaksi redoks akan berlangsung. Persamaan yang menyatakan

reaksi yang berlangsung didapat bila reaksi ke-2 dikurangi dengan persamaan reaksi pertama



Perubahan energi bebas reaksi redoks keseluruhan adalah selisih perubahan energi masing-masing setengah reaksi.

$$\Delta G^\circ = \Delta G^\circ_1 - \Delta G^\circ_2$$

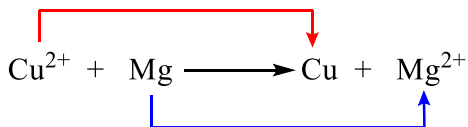
Karena setengah sel pada dasarnya hanya imajiner dan umumnya digunakan sebagai pasangan, perubahan energi bebas ΔG° untuk H^+ diset 0. Dalam hal ini karena didapat hasil percobaan ΔG° bernilai sebesar -147 kJ, bernilai 147 kJ. Potensial E° yang berkaitan dengan ΔG° setengah reaksi disebut **potensial reduksi standar**.

11.2.3 Oksidasi Reduksi

Redoks merupakan kependekan dari reduksi (red) dan oksidasi (oks). Reaksi redoks adalah reaksi dimana suatu spesies dari atom, ion atau molekul mengalami perubahan bilangan oksidasi. Reaksi ini penting untuk sejumlah aplikasi, diantaranya devais penyimpan energi (baterai) dan pengolahan fotografi.

Reduksi adalah suatu proses dimana atom memperoleh elektron sehingga bilangan oksidasi atom menurun. Sebaliknya, oksidasi adalah suatu proses dimana atom kehilangan elektron sehingga bilangan oksidasi atom bertambah. reduktor adalah selalu mengalami oksidasi; dan oksidator selalu mengalami reduksi. Proses oksidasi reduksi adalah suatu proses tidak dapat terjadi tanpa yang lain. Artinya, jika ada sesuatu yang teroksidasi, maka sesuatu yang lain harus tereduksi pada waktu yang sama. (Ingat: Reduktor dioksidasi dan Oksidator direduksi). Contoh (Chang, 2008):

Reduksi (Elektron bertambah)



Oksidasi (Elektron lepas)

Elektron bertambah ketika Cu^{2+} berubah menjadi Cu , sebaliknya elektron berkurang/lepas ketika Mg berubah menjadi Mg^{2+} . Jadi Cu^{2+} sebagai oksidator, sebaliknya Mg sebagai reduktor.

1. Bilang Oksidasi

Bilangan oksidasi adalah muatan formal atom dalam suatu molekul atau dalam ion yang dialokasikan sedemikian sehingga atom yang ke-elektronegatifannya lebih rendah mempunyai muatan positif. Karena muatan listrik tidak berbeda dalam hal molekul yang terdiri atas atom yang sama, bilangan oksidasi atom adalah kuosien muatan listrik netto dibagi jumlah atom. Bilangan oksidasi dapat ditentukan melalui keelektronegatifan relatif suatu atom. Penentuan bilangan oksidasi atom-atom yang terikat secara kovalen melalui nilai keelektronegatifan adalah:

- Membuat rumus dot-elektron dan mengacu pada nilai keelektronegatifan dari unsur-unsur yang terlibat (Gambar 11.2).
- Mengasumsikan semua elektron dimiliki oleh atom yang lebih elektronegatif.
- Membandingkan berapa banyak elektron valensi yang dimiliki atom dalam molekul atau ionnya dengan jumlah yang dimilikinya sebagai unsur monoatomik bebas.
- Menghitung selisih jumlah elektron valensi yang dimiliki oleh atom bebas dikurangi jumlah elektron valensi yang "dimiliki" oleh atom dalam molekul atau ionik adalah bilangan oksidasi.

H 2.20	Electronegativity Values for Some Elements					
Li 0.98	Be 1.57	B 2.04	C 2.55	N 3.04	O 3.44	F 3.98
Na 0.90	Mg 1.31	Al 1.61	Si 1.90	P 2.19	S 2.58	Cl 3.16
K 0.82	Ca 1.00	Ga 1.81	Ge 2.01	As 2.18	Se 2.55	Br 2.96

Gambar 11.2. Nilai Keelektronegatifan unsur-unsur
(Geoff, 2000)

Contoh:

a. HCl;

Cl memiliki keelektronegatifan lebih tinggi daripada hidrogen. Jadi, atom klorin dalam hidrogen klorida akan "memiliki" delapan elektron, dan atom klor bebas memiliki elektron valensi 7. Oleh karena itu, bilangan oksidasi Cl dalam HCl adalah $7-8 = -1$. Atom hidrogen dalam HCl tidak memiliki elektron (telah "kehilangan" satu elektronnya) sehingga bilangan oksidasinya $1-0 = +1$

b. H_2O , H_2O_2 ;

O lebih elektronegatif daripada H. Atom O (keelektronegatifan sama) terikat bersama, sehingga diasumsikan bahwa pasangan elektron ikatan terbagi di antara keduanya. Dalam hal ini, setiap atom oksigen memiliki 7 elektron dalam H_2O_2 , sehingga bilangan oksidasi oksigen adalah $6-7 = -1$. Dan bilangan oksidasi H adalah $1-0 = +1$.

c. HCN;

nitrogen lebih elektronegatif daripada karbon, sehingga nitrogen "memiliki" elektron yang ikut serta dalam

ikatan C-N. Karbon lebih elektronegatif daripada hidrogen, jadi karbon "memiliki" elektron dari ikatan H-C. Jadi, biloks C adalah $4-2 = +2$, N = $5-8 = -3$, dan H = $1-0 = +1$

2. Diagram latimer

Diagram Latimer adalah cara tertua dan paling padu untuk menggambarkan kesetimbangan elektrokimia pada zat yang memiliki beberapa bilangan oksidasi. Nilai-nilai potensial elektrokimia dari reaksi redoks berturut-turut ditulis dari bilangan oksidasi tertinggi ke bilangan oksidasi terendah. Biasanya reaksi berlangsung pada kondisi standar asam kuat ($[H^+] = 1 \text{ M}$, pH 0) atau basa kuat ($[OH^-] = 1 \text{ M}$, pH 14). Biloks zat berturut-turut dalam diagram Latimer dapat berbeda oleh satu atau lebih elektron. Bilangan oksidasi untuk unsur dalam reaksi redoks biasanya ditentukan oleh perbedaan bilangan oksidasinya dengan biloks atom oksigen (biloks -2) atau atom hidrogen (biloks +1) (Cotton dan Wilkinson, 2007).

11.2.4 Asam Basa

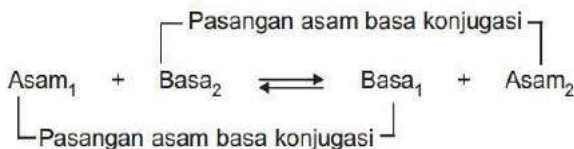
Definisi asam basa telah berubah dengan waktu. Hal ini bukan masalah definisi yang ketinggalan zaman, namun lebih karena kemudahan menerapkan konsep untuk masalah kimia yang khusus. Oleh karena itu, mengurutkan kekuatan asam basa juga bergantung pada definisi asam basa yang digunakan

1. Asam Basa Bronsted-Lowry

Menurut teori asam basa Bronsted Lowry, asam adalah donor proton sedangkan basa adalah akseptor proton. asam basa Arrhenius tidak memuaskan untuk menjelaskan tentang sifat asam basa pada larutan yang bebas air atau tidak mengandung air. Sebagai contoh, asam asetat akan bersifat asam jika dilarutkan dalam air, tetapi ternyata sifat asam tersebut tidak tampak pada saat asam asetat dilarutkan dalam benzena. Demikian juga dengan larutan

amonia (NH_3) dalam natrium amida (NaNH_2) yang menunjukkan sifat basa meskipun tidak mengandung ion OH^- .

Berdasarkan kenyataan tersebut, **Johannes Bronsted** dan **Thomas Lowry** secara terpisah mengusulkan bahwa yang berperan dalam memberikan sifat asam dan basa suatu larutan adalah ion H^+ atau proton (ingat bahwa hidrogen hanya mempunyai sebuah elektron dan sebuah proton, jika elektronnya dilepaskan menjadi ion $+1$, yang tertinggal hanya proton saja). Menurut **teori asam basa Bronsted Lowry**, **asam adalah** spesi (ion atau molekul) yang berperan sebagai donor proton (pemberi proton atau H^+) kepada suatu spesi yang lain. **Basa adalah** spesi (molekul atau ion) yang bertindak menjadi akseptor proton (penerima proton atau H^+). Atau bisa juga dikatakan bahwa menurut teori asam basa Bronsted Lowry, jika suatu asam memberi proton (H^+), maka sisa asam tersebut mempunyai kemampuan menerima proton atau bertindak sebagai basa. Sisa asam tersebut dinamakan **basa konjugasi** dari asam semula. Demikian pula, jika suatu basa menerima proton (H^+), maka basa yang terbentuk mempunyai kemampuan untuk melepas proton tersebut atau bertindak sebagai **asam konjugasi** dari basa semula. Secara umum **pasangan asam basa konjugasi** ini bisa digambarkan sebagai berikut:



2. Asam basa Lewis

Konsep asam-basa menurut Bronsted Lowry mempunyai keterbatasan, terutama di dalam menjelaskan

reaksi-reaksi yang melibatkan senyawa tanpa proton (H^+), misalnya reaksi antara senyawa NH_3 dan BF_3 , serta beberapa reaksi yang melibatkan senyawa kompleks. Pada tahun 1932, ahli kimia G.N. Lewis mengajukan konsep baru mengenai asam – basa, sehingga dikenal adanya asam Lewis dan basa Lewis. Menurut **teori asam basa Lewis** tersebut, yang dimaksud dengan **asam Lewis adalah** suatu senyawa yang mampu menerima pasangan elektron dari senyawa lain, atau akseptor pasangan elektron, sedangkan **basa Lewis adalah** senyawa yang dapat memberikan pasangan elektron kepada senyawa lain atau donor pasangan elektron. Teori asam basa Lewis ini lebih memperluas konsep asam – basa yang telah dikembangkan oleh Brosted Lowry (Cotton, 1980).

Konsep asam–basa yang dikembangkan oleh Lewis didasarkan pada ikatan kovalen koordinasi. Masih ingat kan ya? Ikatan kovalen koordinasi adalah ikatan kimia yang terbentuk dari pemakaian elektron bersama yang digunakan elektron tersebut berasal dari salah satu atom atau molekul yang berikatan. Atom atau spesi yang memberikan pasangan elektron di dalam membentuk ikatan kovalen koordinasi akan bertindak sebagai basa, sedangkan atom, molekul atau spesi yang menerima pasangan elektron disebut sebagai asam. Dengan konsep ini dapat dijelaskan terjadinya reaksi asam basa yang terjadi pada ion logam dengan suatu molekul atau ion.

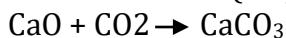
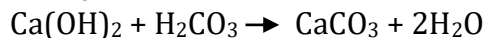
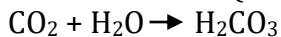
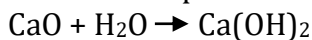
Derajat pengikatan ion logam terhadap ligan dapat dinyatakan sebagai derajat keasaman Lewis, sebaliknya kecenderungan ligan terikat ke ion logam dapat dianggap sebagai derajat kebasaan Lewis. Kekuatan asam basa Lewis bukan merupakan sifat tetap dan inheren, namun bergantung pada pasangan asam basa. Artinya, urutan kekuatan basa Lewis dapat berubah sesuai dengan jenis

asam yang bereaksi dengan basa. Derajat keasaman asam Lewis sebagai akseptor pasangan elektron bebas dan derajat kebasaan basa Lewis sebagai donor pasangan elektron bebas sangat dipengaruhi oleh elektronik dan sterik dari pensubstitusinya.

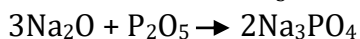
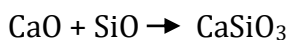
Keelektronegatifan pensubstitusi mempengaruhi derajat keasaman dan kebasaan secara berkebalikan antara asam dan basa Lewis. Makin kuat menarik elektron (sifat keelektronegatifan), maka sifat asam pensubstitusi semakin besar dan sifat basa menurun.

3. Asam Basa Lux dan Flood

Konsep asam basa Lux dan Flood sangat berguna dalam pengolahan sistem anhidrat pada suhu tinggi seperti keramik dan metalurgi. Menurut Lux dan Flood, asam adalah pendonor ion oksida dan basa adalah akseptor ion oksida. Mari perhatikan reaksi berikut:



CaO dan CO₂ mula-mula bereaksi dengan air masing-masing menghasilkan basa Ca(OH)₂ dan asam H₂CO₃. Kemudian basa dan asam tersebut bereaksi menghasilkan garam CaCO₃ dan pelarut air. Namun, untuk menghasilkan CaCO₃ dapat dilakukan tanpa adanya pelarut, seperti reaksi $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$. Contoh lain reaksi antara oksida asam dan oksida basa adalah:



Reaksi oksida di atas dikenal sebagai reaksi asam basa, yang biasa disebut asam basa Lux dan Flood. Pada reaksi di atas, asam adalah CaO dan Na_2O yang menyediakan ion oksidanya kepada basa CO_2 , SiO_2 , dan P_2O_5 sehingga terbentuk anion CO_3^{2-} , SiO_3^{2-} , PO_4^{3-} .

4. Asam Basa Keras Lunak (HSAB)

Konsep *Hard Soft Acid Base* (HSAB) biasa dikenal sebagai asam basa Pearson. HSAB merupakan teori yang menjelaskan tentang keras lunaknya suatu asam dan basa. HSAB digunakan dalam ilmu kimia untuk menjelaskan kesetabilan senyawa dan mekanisme. Teori ini digunakan dalam konteks kuantitatif untuk mengetahui faktor utama terjadinya reaksi kimia, terutama pada logam transisi.

Pearson mengusulkan bahwa asam basa Lewis dapat diklasifikasikan sebagai asam basa lunak (*soft*) atau keras (*hard*). Asam basa lunak adalah asam basa yang elektron-elektron valensinya mudah terpolarisasi atau terlepas, sedangkan asam basa keras adalah asam basa yang elektron valensinya sukar terpolarisasi. Dengan kata lain asam basa lunak mempunyai sifat terpolarisasi tinggi dan asam basa keras mempunyai sifat terpolarisasi rendah. Ligan-ligan dengan atom yang sangat elektronegatif dan berukuran kecil merupakan basa keras, sedangkan ligan-ligan dengan atom yang elektron terluarnya mudah terpolarisasi akibat pengaruh ion dari luar merupakan basa lemah.

Syarat-syarat asam-basa keras adalah jejari atom kecil, bilangan oksidasi tinggi, polaritasnya rendah, elektronegativitasnya tinggi. Sebaliknya syarat asam basa lunak adalah jejari atom besar, biloks rendah, polaritas rendah, elektronegativitas rendah. Teori HSAB menggolongkan asam dan basa dalam tiga kategori masing-masing asam keras, sedang, asam lunak dan basa keras,

sedang basa lunak yang merupakan pengembangan dari teori asam basa Lewis.

Kation basa keras membentuk kompleks dimana interaksi coulomb sederhana lebih dominan. Sedangkan kation basa lunak membentuk kompleks dimana ikatan kovalen lebih penting. Konsep asam basa keras lunak juga dapat diterapkan pada molekular netral, dimana;

- a. Ikatan Asam keras : $R3P \ll R3N$, $R2S \ll R2O$
- b. Ikatan Asam Lunak : $R2O \ll R2S$, $R3N \ll R3P$

Jadi dari keterangan di atas dapat disimpulkan

- a. Asam keras cenderung berikatan dengan basa keras
- b. Asam lunak cenderung berikatan dengan basa lunak
- c. Interaksi asam-basa keras cenderung bersifat elektrostatik
- d. Interaksi asam-basa lunak cenderung bersifat kovalen

Asam keras membentuk senyawa garam yang stabil dengan basa keras. Adapun asam lunak membentuk senyawa garam yang stabil dengan basa lunak. Oleh karena itu, jika tubuh kita keracunan kadmium yang merupakan asam lunak sebaiknya kita menetralsirnya dengan mengkonsumsi makanan yang mengandung basa lunak seperti RS- ysng terdapat pada susu. Tetapi, jika tubuh kita keracunan asam keras seperti kromium, kita harus pula mengkonsumsi makanan yang mengandung basa keras seperti OR- yang misalnya terdapat pada kunyit. Jadi, tidaklah tepat mengkonsumsi susu jika kita keracunan kromium begitupun tidak tepat jika kita mengkonsumsi kunyit bila keracunan kadmium karena logam berat itu tetap tidak akan keluar dari tubuh (House, 2012).

DAFTAR PUSTAKA

- Chang, R., 2008. *Chemistry Tenth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Cotton, F.A. and Wilkinson, G., 1980. *Advanced Inorganic Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Geoff, C. R., 2000. *Descriptive Inorganic Chemistry, 2nd edition*. New York: W.H. Freeman and Company.
- House, croft. Sharpe., 2012. *Inorganic Chemistry*. England: Pearson Education Limited.
- Cotton dan Wilkinson., 2007. *Kimia Anorganik Dasar*. Jakarta: UI-Press.

BAB 12

KIMIA ANALITIK

Oleh Melani Ganing

12.1 Pendahuluan

Kimia Analitik ialah cabang ilmu kimia yang mendasari mengenai proses identifikasi atau analisa bahan. Kimia analitik secara universal mengkaji tata cara penentuan komposisi kimia dan kandungan bahan baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Wonorahardjo, 2021). Analisa bertujuan guna memastikan komposisi suatu bahan, baik secara kualitatif, kuantitatif, ataupun struktural (apa rumus molekul zat dan bagaimana rumus strukturnya). Analisis kualitatif ataupun kerap sebut dengan analisa jenis digunakan untuk memastikan ragam ataupun tipe zat ataupun komposisi bahan yang dianalisis yaitu "apa" kandungan dari bahan ataupun zat yang akan dianalisa. Analisa kuantitatif digunakan dalam memastikan banyaknya zat ataupun komponen- komponen bahan ataupun dengan kata lain "berapa" banyak zat yang terdapat dalam bahan ataupun zat yang dianalisa (Harjadi, 1986). Contoh perbedaan analisis kualitatif atau kuantitatif ialah contoh pada analisis kapur. Dari analisis kualitatif bisa diketahui komposisi ataupun jenis unsur yang terdapat pada kapur. Kapur memiliki kation Ca^{2+} serta anion CO_3^{2-} . Sebaliknya, batu kapur memiliki ion kation Ca^{2+} dan ion CO_3^{2-} . Namun, dengan analisis kuantitatif, kita dapat mengetahui persentase banyaknya zat atau unsur yang menyusun batu kapur dari Ca^{2+} dan CO_3^{2-} (Rohmah dan Rini, 2020).

Terdapat dua alasan mengapa ilmu kimia analitik digunakan secara luas. Ilmu kimia analitik memiliki banyak manfaat dalam berbagai cabang kimia, seperti kimia anorganik, kimia organik, kimia fisika, dan biokimia. Selain itu, ilmu kimia analitik juga sering

diterapkan dalam bidang-bidang lain seperti ilmu lingkungan, pertanian, kedokteran, dan ilmu forensik (Khopkar, 2014).

12.2 Ruang Lingkup Kimia Analitik

Menurut Wonorahardjo (2021), ada beberapa ahli yang menggolongkan kimia analitik menjadi empat, yaitu:

12.2.1 Analisis Kandungan

Analisis kandungan adalah tujuan utama dari kimia analitik untuk menentukan unsur atau senyawa yang ada dalam suatu contoh menggambarkan bagaimana proporsi komponen tersebut di dalam sampel. Proses analisis komposisi juga mencakup Langkah pemisahan komponen sebelum melakukan identifikasi dan menghitung proporsi komposisinya. Metode-metode konvensional seperti ekstraksi, destilasi, gravimetri sampai kromatograafi dapat dilibatkan dalam analisis kandungan. Di lain pihak, jika jumlahnya terlalu kecil, teknik modern akan diterapkan misalnya kromatografi modern, spektroskopi, dan masih banyak lagi.

12.2.2 Analisis Struktur

Analisis struktur adalah bagian dari analisis kimia yang sangat bergantung pada instrumentasi modern. Analisis struktur pada dasarnya adalah analisis pada sampel yang merupakan senyawa murni dan tidak boleh berupa campuran. Beberapa metode utama analisis struktur, antara lain :

1. Spektroskopi inframerah yang akan memberi informasi tentang gugus fungsi yang terdapat dalam spesimen/sampel.
2. Spektroskopi ultraviolet dan sinar tampak dapat memberi informasi tentang keberadaan senyawa organik dalam suatu sampel. Konsentrasi senyawa anorganik juga dapat ditetapkan dari intensitas senyawa kompleks stabil yang dihasilkan dengan adanya reagen pengompleks.
3. Resonansi magnetis inti (*Nuclear Magnetic Resonance*) sangat membantu analisa struktur yang bersumber pada spektrum

yang diperoleh. Spektrum NMR berkaitan dengan jumlah ataupun jenis serta posisi atom-atom tersebut dalam senyawa. Selama ini, NMR proton dan NMR karbon memberi informasi utama dalam elusidasi struktur senyawa organik.

4. Spektroskopi massa memberika informasi mengenai senyawa yang diteliti. Spektrum massa yang diperoleh sebagai hasil penguraian senyawa sampel, ketika dianalisis akan memberikan informasi tentang senyawa aslinya. Metode ini sering digabungkan dengan metode pemisahan sehingga untuk menentukan kandungan dan komposisi senyawa dalam sampel dapat dilakukan sekaligus.

12.2.3 Analisis Distribusi

Analisis distribusi mengungkapkan bahwa sifat-sifat materi yang memiliki bagian yang sangat heterogen. Analisis distrubusi semakin banyak digunakan dalam ilmu material. Analisis permukaan suatu bahan (*surface analysis*) memberikan wawasan tentang sifat permukaan bahan yang diteliti. Informasi tersebut sangat penting dalam industri material. Pendayagunaan potensi permukaan bahan memberikan banyak tujuan pembuatan bahan. Kimia katalis dan kimia permukaan sangat membutuhkan konsep-konsep kimia dan teknik analisis modern. Secara umum, analisis distribusi disebut juga dengan analisis material tiga dimensi.

12.2.4 Analisis Proses

Analisis proses sangat diperlukan di masa industri kimia. Proses industri material harus efektif dan efesien. Optimasi proses merupakan istilah penting yang mengandalkan kualitas proses yang baik. Saat ini bukan saja hasil yang baik yang diharapkan melainkan proses awal hingga akhir sangat diperhatikan. Waktu merupakan faktor penting dalam analisa proses. Penjelasan mengenai proses yang sedang berjalan juga melibatkan perubahan metode dan berbagai bahan kimia yang digunakan. Informasi dari setiap

tahapan proses, urutan, dan pemilihan metode modifikasi untuk mengoptimalkan proses selalu dilakukan guna meningkatkan kualitas proses. Analisis proses dilakukan sebagai bagian optimalisasi proses.

12.3 Tahapan-Tahapan Analisa Kimia

Pada proses analisis kimia, menurut Wiryawan (2008) perlu melakukan Langkah analisa agar hasil analisis kimia yang akurat dan komprehensif dapat diperoleh.

1. Perencanaan Analisis: Terdapat dua aspek yang harus dipertimbangkan sebelum melakukan analisis kuantitatif, seperti berikut:
 - a. Penting untuk memperhatikan informasi analitik untuk menentukan tingkat ketelitian dan keakuratan hasil analisis dari sampel yang akan diuji serta jenis sampel yang akan dianalisis.
 - b. Seleksi metode analisis yang sesuai harus dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis dengan tingkat akurasi dan ketelitian yang optimal. Dalam memilih metode analitik, penting untuk mempertimbangkan penggunaan bahan kimia dan peralatan yang tepat sesuai dengan kebutuhan.
2. Pengambilan sampel (*sampling*)

Metode pengambilan sampel merupakan teknik pengambilan sampel yang mewakili sampel secara keseluruhan. Namun, hal ini seringkali sulit dicapai karena adanya variasi dalam kondisi umum sampel.
3. Mempersiapkan sampel untuk analisis. Proses ini melibatkan beberapa tahap, yakni pengeringan, pengukuran, dan pelarutan sampel.
 - a. Proses Pengeringan sampel.

Proses pengeringan digunakan pada sampel yang berbentuk padat. Tujuannya adalah untuk

menghilangkan kadar air yang terkandung dalam sampel. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 100–110°C sampai beratnya konstan.

- b. Proses penimbangan atau pengukuran volume sampel. Dalam analisis kuantitatif, penting untuk mengetahui secara pasti jumlah sampel yang akan dianalisis, baik dalam bentuk massa maupun volume.
- c. Pelarutan sampel.

Proses pelarutan sampel harus menggunakan pelarut yang memiliki kemampuan untuk melarutkan sampel secara menyeluruh. Jenis-jenis pelarut yang umum digunakan dapat dikategorikan sebagai berikut: pelarut air, pelarut organik, pelarut asam (baik asam encer, asam kuat, maupun campuran asam), serta proses peleburan.

- 4. Pemisahan senyawa pengotor/pengganggu.

Sebagian besar cara analisis kimia bersifat selektif hanya untuk unsur atau senyawa yang menjadi focus analisis. Terkadang, ada metode analisis yang tidak selektif karena adanya unsur atau senyawa penyimpang. Oleh karena itu, unsur atau senyawa penyimpang perlu diisolasi dari sampel yang akan dianalisis. Salah satu cara yang paling sederhana untuk melakukan pemisahan unsur atau senyawa penyimpang adalah melalui proses pengendapan atau presipitasi. Metode lain yang digunakan meliputi ekstraksi pelarut dan teknik kromatografi.

- 5. Pengukuran (analisa) unsur/senyawa ingin dicari. Cara analisis kuantitatif digunakan untuk menentukan kadar unsur atau senyawa tertentu.
- 6. Menghitung, membuat laporan dan mengevaluasi hasil analisis.

Setelah menyelesaikan tahap analisis kuantitatif, langkah berikutnya adalah menghitung jumlah analit dalam sampel. Ini mencakup mempertimbangkan massa sampel (untuk sampel padat) atau volume sampel (untuk sampel cair), serta memperhitungkan faktor pengenceran jika diperlukan. Hasil analisis dievaluasi dengan memperhatikan tingkat akurasi dan ketelitian.

12.4 Kimia Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif umumnya dilakukan dalam tiga skala, yaitu makro dengan sampel berjumlah 0,5-1 gram dan volume 20 mL, semi-mikro dengan sampel seberat 0,05-0,1 gram dan volume 1 mL, serta mikro untuk sampel yang lebih kecil, kurang dari atau sama dengan 0,01 gram. Pada analisis kualitatif senyawa anorganik, terdapat serangkaian langkah awal yang melibatkan reaksi kering dan basah, pelarutan sampel, serta pemeriksaan kation dan anion. Untuk mengidentifikasi kation dan anion dalam sampel larutan, digunakan serangkaian uji identifikasi dengan menggunakan pereaksi khusus yang menghasilkan produk khusus yang dapat dengan mudah diamati.

12.4.1 Uji Pendahuluan

Menurut Sulistryarti (2017), Analisis kualitatif digunakan untuk pemeriksaan pendahuluan senyawa anorganik melalui dua jenis pengujian, yaitu :

A. Uji Reaksi Kering

Pemeriksaan/identifikasi pendahuluan dilakukan dengan cara kering, baik secara langsung menggunakan penglihatan dan bau ataupun dengan cara lainnya. Pada umumnya pemeriksaan pendahuluan dilakukan untuk menghasilkan kesimpulan sementara, yang selanjutnya ditindaklanjuti dengan pekerjaan pemeriksaan berikutnya. Menurut Darsiti (2017), pengujian pendahuluan dilakukan dengan uji kering yang terdiri dari :

1. Pengujian warna dan wujud zat pada suhu kamar
Adapun Contohnya sebagai berikut :
 - a. Tembaga sulfat hidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) mudah diketahui dari padatannya yang berwarna biru, berbentuk kristal atau serbuk.
 - b. Kalium bikarbonat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) dengan warna padatan jingga dan berbentuk serbuk halus.
 - c. Garam dapur (NaCl) padatan berwarna putih dan berbentuk serbuk.
2. Pengujian warna zat dalam keadaan panas atau dingin
Beberapa zat yang mengalami perbedaan warna ketika keadaan dingin dan keadaan panas dapat dilihat pada tabel 12.1

Tabel 12.1. Warna beberapa garam atau oksida logam pada kondisi panas dan dingin.

No.	Nama Zat/Rumus	Warna pada Keadaan Panas	Warna pada Keadaan Dingin
1	ZnO	Kuning	Putih
2	Fe_2O_3	Hitam	Coklat
3	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Putih	Biru
4	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Putih	Hijau muda
5	SnO_2	Kuning kecoklatan	Kuning merang
6	HgS	Hitam	Merah
7	PbO	Coklat kemerahan	Kuning

Sumber : Darsiti, 2017

3. Uji zat dalam pipa pijar dengan mengamati warna, melumer, menyublim, dan terbentuknya uap air serta terbentuknya gas

4. Uji nyala api

Uji nyala (flame test) merupakan contoh dari reaksi kering yang digunakan dalam analisis kualitatif. Salah satu metode reaksi kering yang digunakan dalam analisis kualitatif adalah uji nyala, di mana logam atau ion logam dipanaskan pada suhu tinggi sehingga berada dalam kondisi tereksitasi, di mana elektron berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Kondisi ini tidak stabil, sehingga elektron cenderung kembali ke tingkat dasar dengan memancarkan energi dalam bentuk cahaya yang terlihat. Setiap unsur memiliki pola pancaran cahaya tampak yang unik, sehingga menghasilkan warna yang berbeda-beda untuk setiap unsur. Oleh karena itu, keberadaan suatu unsur dapat dikenali berdasarkan warna yang diamati. Proses emisi cahaya ini kemudian menjadi dasar dalam analisis spektrofotometri (Alauhdin, 2020).



Gambar 12.1. Uji nyala logam litium (Li), Natrium (Na), dan Kalium (K). (Sumber:

<https://www.ilmukimia.org/2013/12/golongan-logam-alkali.html>)

Langkah awal sebelum menetapkan prosedur analisis adalah melakukan pemeriksaan pendahuluan.

Pemeriksaan awal ini bisa mencakup pengamatan langsung terhadap ciri-ciri seperti warna atau bau analit. Contohnya, warna larutan dapat memberikan petunjuk awal tentang keberadaan suatu ion (biasanya ion kation terhidrasi). Ion tembaga (II), misalnya, umumnya memberikan warna biru pada larutan, sementara ion kromium (III) dapat memberikan warna hijau. Warna kuning dalam larutan mungkin menunjukkan adanya kromat, heksasianoferrat (II), atau besi (II), sementara larutan ungu bisa mengandung unsur permanganat (Alauhdin, 2020).

Uji nyala dilaksanakan dengan memanfaatkan kawat platina atau kawat nikel-kromium (nichrome). Sebelum digunakan, kawat platina perlu dipanaskan dan dibersihkan dengan menggunakan asam klorida (HCl) pekat. Setelah itu, kawat platina dicelupkan ke dalam larutan atau padatan (serbuk) bahan yang akan dianalisis, dan kemudian dipanaskan di area sekitar nyala api dari alat pembakar Bunsen. Uap yang dihasilkan saat dipanaskan akan menghasilkan nyala berwarna, dan warna nyala ini bergantung pada jenis kation yang hadir dalam sampel (Tabel 12.2).

Tabel 12.2. Warna uji nyala

Bahan mungkin berisi	Warna api
Li	Merah
Na	Kuning
K	Ungu
Ca	Merah kekuningan
Ba	Hijau kekuningan
Cu	Hijau kebiruan

Sumber : Alauhdin, 2020

5. Pengujian mutiara boraks, fosfat, dan natrium karbonat
Pengujian ini adalah salah satu cara analisis kualitatif anorganik dengan pembentukan mutiara dari zat yang diperiksa dengan bantuan kawat platina.
6. Uji reduksi dengan arang kayu.
Reduksi arang kayu dilakukan dengan cara memanaskan garam yang diperiksa yang disimpan di dalam rongga arang kayu pada nyala oksidasi. Terjadinya pembakaran dari proses tersebut menandakan adanya zat pengoksidasi seperti nitrit, nitrat, klorat dan sebagainya. Terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan mengenai proses hasil dari uji reduksi dengan arang ini, diantaranya:
 - a. Oksida logam mulia seperti perak (Ag) dan emas (Au) dapat terurai dengan pemanasan tanpa arang kayu.
 - b. Oksida dari logam-logam seperti timbal, tembaga, bismut, antimon, timah, besi, nikel, dan kobalt akan direduksi oleh arang kayu sehingga membentuk butiran logam cair (pada bismut, timbal, timah, dan antimon) dan struktur logam berpori (pada tembaga), atau substansi berkilau (pada besi, nikel, dan kobalt).
 - c. Oksida kadmium, arsen, dan seng, mudah tereduksi menjadi bentuk logam, walaupun rentan menguap, menyebabkan perpindahan dari kondisi reduksi ke kondisi oksidasi dalam nyala tersebut. Hasil oksidasi ini akan menumpuk sebagai lapisan tipis di sekitar lubang di dalam arang. Oksida seng akan berwarna kuning saat panas dan putih saat dingin. Lapisan kadmium berwarna coklat dan mudah menguap. Lapisan arsen berwarna putih dengan aroma seperti bawang. Sedangkan logam timbal, bismut, dan antimon ditemukan dalam bentuk butiran.

- d. Oksida dari aluminium, kalsium, barium, dan magnesium tidak dapat direduksi oleh arang karena oksida-oksida ini tidak dapat meleleh dengan panas dari api bunsen, dan jika dipanaskan dengan suhu tinggi, oksigen akan tetap terikat dengan kuat. Ikatan ini lebih kuat daripada ikatan antara karbon dan oksigen.

Metode reaksi kering diterapkan pada sampel yang berbentuk padat dan tidak melibatkan pelarutan atau penambahan larutan reagen. Reaksi kering dapat dilakukan dengan memanaskan sampel untuk mengamati perubahan sifat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi analit melalui sublimasi, peleburan, dekomposisi yang menghasilkan perubahan warna, atau pelepasan gas. Uji reaksi kering biasanya digunakan sebagai tahap awal untuk membantu meramalkan analit yang sedang diuji.

B. Uji Reaksi Basah

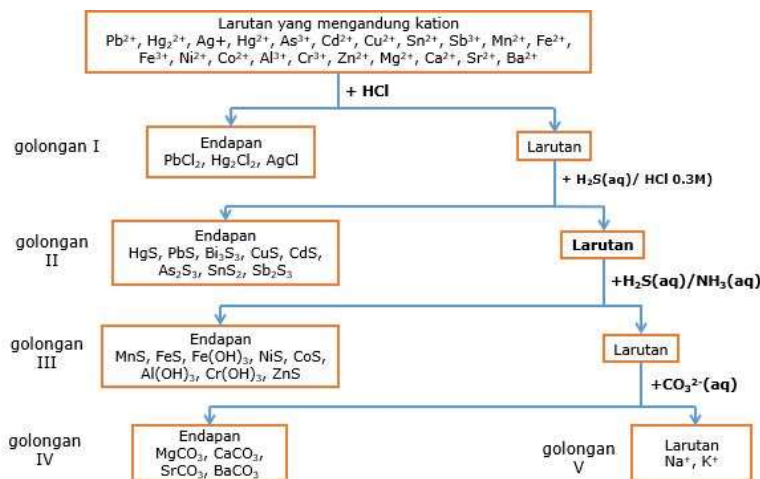
Pada metode uji reaksi basah, sampel disiapkan dalam bentuk larutan. Dengan menambahkan beberapa reagen, kita dapat mengamati pembentukan endapan, pelepasan gas, atau perubahan warna yang membantu mengidentifikasi dan mengonfirmasi analit yang sedang diperiksa.

12.4.2 Analisis Kualitatif Kation

Kation adalah jenis ion yang membawa muatan positif dan terbentuk saat kehilangan satu atau lebih elektron. Kation ini dibagi menjadi beberapa kelompok dalam konteks analisis kualitatif. Klasifikasi kation ini dilakukan berdasarkan cara kation tersebut bereaksi dengan reaktan tertentu. Golongan reagen umumnya digunakan untuk mengelompokkan kation, seperti asam klorida, hidrogen sulfida, amonium sulfida, dan amonium karbonat. Pengelompokan ini membantu mengidentifikasi kemampuan suatu

kation dalam membentuk atau tidak membentuk endapan saat bereaksi dengan reagen tersebut. Oleh karena itu, dibentuk campuran kation-kation yang kemudian memerlukan pemisahan berjenjang, dimulai dari pengelompokan golongan secara sistematis, dilanjutkan dengan pemisahan subkelompok dan komponennya (Yusuf, 2019).

Menentukan satu kation atau anion dalam larutan relatif mudah dilakukan. Namun, jika terdapat banyak kation (atau anion) dalam suatu larutan, maka proses identifikasinya menjadi lebih kompleks, terutama jika kation-kation tersebut memiliki sifat yang mirip. Ion-ion yang mungkin mengganggu perlu diisolasi sebelum pengujian dilakukan. Proses isolasi ini dapat dicapai dengan cara mengendapkan ion-ion tersebut melalui tahap pengendapan yang dilakukan secara sistematis, berdasarkan kecenderungan mereka untuk membentuk endapan atau kompleks ionik. Endapan yang dihasilkan dari reaksi ini bisa berupa kristal atau koloid, yang dapat mengalami proses penggumpalan atau pembentukan koloid.



Gambar 12.2. Sistematika Pemisahan Golongan untuk Kation.

Sumber : Johannes, 2022

Kation dikelompokkan menjadi 5 kelompok berdasarkan reaksinya dengan pereaksi. Reagen yang digunakan antara lain asam klorida (HCl), asam hidrosulfurat/hidrogen sulfida (H_2S), ammonium sulfida ($(\text{NH}_4)_2\text{S}$), dan ammonium karbonat ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$). Klasifikasi ini didasarkan pada pembentukan endapan ketika kation tersebut berinteraksi dengan salah satu pereaksi yang disebutkan di atas. Klasifikasi kelompok kation ini, menurut Alauhdin (2020) dan Ghufroon (2023), antara lain:

A. Kation Golongan 1

Kation dari golongan I akan membentuk endapan ketika bereaksi dengan asam klorida encer (HCl). Beberapa ion yang termasuk dalam golongan 1 adalah Ag (Perak), Hg (Merkurium(I) atau Raksa), dan Pb (Timbal).

B. Kation Golongan 2

Kation golongan II tidak dapat bereaksi dengan asam klorida, tetapi akan membentuk endapan saat bereaksi dengan hidrogen sulfida dalam suasana asam. Beberapa ion dalam kelompok ini meliputi merkuri (II), tembaga (II), bismut (III), kadmium (II), arsenik (III), arsenik (V), stibium (III), stibium (V), timah (II), dan timah (IV).

C. Kation Golongan 3

Kation golongan III tidak akan bereaksi dengan asam klorida encer (HCl) atau hidrogen sulfida dalam kondisi asam. Kelompok ini akan membentuk endapan melalui reaksi dengan ammonium sulfida dalam suasana netral. Beberapa ion dalam kelompok golongan ini meliputi kobalt (II), nikel (II), besi (II), besi (III), kromium (III), aluminium, seng, dan mangan (II).

D. Kation Golongan 4

Kation dalam golongan ini tidak akan bereaksi dengan reagen golongan I, II, dan III. Kation dari golongan IV akan mengendap saat berinteraksi dengan ammonium karbonat dalam kehadiran ammonium klorida dalam suasana netral

atau ringan asam. Kation dalam kelompok ini termasuk kalsium, stronsium, dan barium.

E. Kation Golongan 5

Kation golongan V adalah kation umum yang tidak akan bereaksi dengan reagen golongan sebelumnya. Ini merupakan kelompok kation terakhir yang terdiri dari ion magnesium, natrium, kalium, amonium, litium, dan hidrogen.

12.4.3 Analisis Kualitatif Anion

Anion adalah jenis ion yang membawa muatan negatif yang muncul akibat penambahan elektron. Uji anion dilakukan setelah uji kation. Proses analisis anion tidak jauh berbeda dari analisis kation. Uji anion cenderung lebih sederhana karena pengaruh dari ion lain yang ada dalam larutan bisa diabaikan. Pendekatan dalam analisis anion tidak semeticulous pada analisis kation. Tahap awal dalam uji anion juga bergantung pada ciri fisik seperti warna, bau, produksi gas, dan kelarutan (Ghufron, 2023).

Beberapa anion tidak menunjukkan reaksi dengan asam sulfat pekat pada suhu dingin, tetapi nitrat akan menghasilkan warna kecoklatan dari NO_2 yang terbentuk, sementara asetat akan mengeluarkan aroma cuka khas jika bereaksi dengan asam sulfat pekat (Yusuf, 2019), secara umum anion dikelompokkan menjadi tiga golongan, yaitu:

1. Anion golongan sulfat: SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , PO_4^{3-} , $\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}$, BO_2^- , CO_3^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, AsO_4^{3-}
2. Anion golongan halida: Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-}
3. Anion golongan nitrat: NO_3^- , NO_2^- , $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$.

Garam-garam seperti BaSO_4 , BaSO_3 , $\text{Ba}_2(\text{PO}_4)_3$, BaCr_2O_4 , $\text{Ba}(\text{BO}_2)_2$, BaCO_3 , BaC_2O_4 , $\text{Ba}_3(\text{AsO}_4)_2$ tidak larut dalam air pada kondisi basa, sedangkan garam-garam anionik lainnya seperti barium mudah larut. Berdasarkan sifat ini, memungkinkan untuk

memisahkan dan mengidentifikasi golongan sulfat dengan menambahkan pereaksi BaCl_2 . Kecuali untuk barium kromat yang berwarna kuning, garam-garam barium lainnya memiliki warna putih. Ketika larutan sampel dinetralkan dengan asam nitrat dan ditambahkan perak nitrat, hanya golongan anion halida yang akan membentuk endapan garam perak, seperti AgCl (putih), AgBr (kuning), AgI (kuning muda), Ag_2S (hitam). Anion yang tidak menunjukkan reaksi positif untuk kedua kelompok di atas mungkin mengandung anion dari golongan nitrat. Jika sampel mengandung banyak kation, langkah pendahuluan di atas mungkin tidak cukup untuk memastikan keberadaan anion. Oleh karena itu, setelah langkah pendahuluan, juga diperlukan uji khusus untuk setiap jenis anion (Yusuf, 2019).

12.5 Kimia Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif digunakan untuk mengukur jumlah setiap komponen yang ada dalam sampel. Metode analisis kuantitatif ini dapat dilakukan dengan cara tradisional atau modern (melibatkan instrumen) (Pursitasari, 2022). Adapun penjelasan dari metode tersebut dijelaskan oleh Harjadi (1986) bahwa metode klasik didasarkan pada interaksi materi dengan materi. Sedangkan untuk metode instrumentasi berdasarkan pada interaksi energi dengan materi.

12.5.1 Metode Klasik

A. Gravimetri

Gravimetri merupakan cara analisis kuantitatif yang bergantung pada pengukuran massa atau perubahan massa. Pengukuran massa atau perubahan massa ini dilakukan dengan menimbang hasil reaksi setelah analit bereaksi dengan pereaksi tertentu. Akibat reaksi ini, dapat terbentuk gas, endapan, atau bahkan residu yang tidak mengalami reaksi. Proses untuk mendapatkan hasil reaksi tersebut melibatkan

berbagai metode gravimetri, termasuk metode pengendapan, penguapan, dan elektrogravimetri (Alauhdin, 2020).

Metode gravimetri adalah metode dimaksudkan untuk menentukan jumlah suatu analit secara konvensional (klasik). Secara umum, metode gravimetri dapat dilakukan melalui Langkah- langkah berikut (Pursitasari, 2022):

1. Metode Penguapan

Dalam metode ini, analit diuapkan dan massa zat yang tidak mudah menguap ditimbang. Dengan demikian, massa bagian yang menguap atau hilang dapat dihitung. Misalnya, metode ini dapat digunakan untuk menentukan kadar air dalam sampel organik atau menghitung jumlah air kristal (Hidrat) yang terikat dalam suatu senyawa.

2. Metode Pengendapan

Metode ini melibatkan penggunaan beberapa reagen untuk menghasilkan endapan dari analit. Endapan yang dihasilkan harus berbentuk kristal kasar agar mudah dipisahkan dengan penyaringan.

3. Metode elektrolisis

Pada metode ini, larutan yang mengandung analit dimasukkan ke dalam sel elektrolisis. Setelah proses elektrolisis selesai, massa logam yang diendapkan pada katoda dianalisis. Sebagai contoh, metode ini dapat digunakan untuk menentukan jumlah tembaga (Cu) dalam larutan sampel dengan melakukan elektrolisis selama periode tertentu pada katoda platina (Pt) dalam suasana asam. Selama proses elektrolisis, ion Cu^{2+} dalam larutan sampel direduksi membentuk endapan Cu pada katoda, sementara pada anoda terjadi reaksi oksidasi air yang menghasilkan ion H^+ dan oksigen. Massa endapan Cu yang dihasilkan pada katoda dapat

dihitung dengan mengukur selisih massa elektroda sebelum dan setelah proses elektrolisis.

Terdapat tiga aspek yang harus diperhatikan agar analisis gravimetri berhasil (Wiryan, 2008), yaitu:

1. Unsur atau senyawa yang diidentifikasi harus mengendap secara sempurna.
2. Bentuk endapan yang akan ditimbang harus memiliki rumus molekul yang jelas.
3. Endapan yang diperoleh harus murni dan dapat ditimbang dengan mudah.

Beberapa tahapan dalam analisis gravimetri sebagai berikut;

1. Pelarutan sampel, jika sampel berbentuk padat.
2. Membentuk endapan dengan menambahkan pereaksi pengendap dalam jumlah berlebihan untuk memastikan semua unsur/senyawa mengendap. Pengendapan dilakukan pada suhu dan pH tertentu yang optimal untuk reaksi pengendapan. Tahap ini merupakan tahap penting.
3. Penyaringan endapan.
4. Pencucian endapan, dengan cara menyiram endapan di dalam penyaring dengan larutan tertentu.
5. Pengeringan endapan sampai mencapai berat konstan.
6. Menimbang endapan.
7. Melakukan perhitungan akhir.

B. Volumetri (Titrasi)

Analisis volumetri merupakan metode analisis kuantitatif yang pada prinsipnya dilakukan dengan mengukur volume larutan baku yang bereaksi secara kualitatif dengan larutan analit yang memiliki berat tertentu. Di sisi lain, titrasi melibatkan penambahan larutan standar ke dalam larutan yang akan diukur hingga reaksi sempurna terjadi. Pada tahap ini,

terjadi titik di mana reaksi mencapai kesetaraan yang dikenal sebagai titik ekuivalen atau titik akhir titrasi (Yusuf, 2019).

1. Penggolongan Titrasi

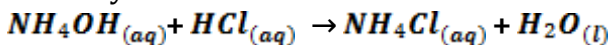
Reaksi dasar dalam analisis ini diklasifikasikan berdasarkan jenis reaksi antara larutan dalam labu Erlenmeyer (analit) dan larutan dalam buret (titran) (Rohmah, 2020). Tergantung pada jenis reaksi yang berlangsung, titrasi dapat dibedakan menjadi:

a. Titrasi Netralisasi, meliputi :

- Asidimetri

Asidimetri adalah proses titrasi yang melibatkan larutan basa kuat, basa lemah, atau garam hasil hidrolisis dari reaksi antara asam lemah dan larutan standar asam kuat.

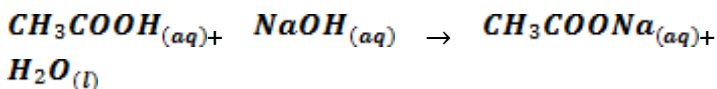
Reaksinya adalah :



Asam Lemah + Basa Kuat $\rightarrow$ Garam + Air

- Alkalimetri

Alkalimetri adalah titrasi yang melibatkan larutan yang bisa berupa asam kuat, asam lemah, atau garam yang terhidrolisis akibat reaksi antara basa lemah dengan larutan standar basa kuat. Reaksinya adalah:



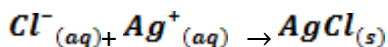
Basa Lemah + Asam Kuat $\rightarrow$ Garam + Air

b. Titrasi Pengendapan

Titrasi Pengendapan adalah jenis titrasi di mana terbentuk endapan yang kurang larut antara larutan titran dan analit. Titik akhir titrasi ini sering

diindikasikan oleh terbentuknya endapan antara kation perak dan anion halogen, sehingga juga disebut sebagai titrasi argentometri.

Reaksinya adalah:

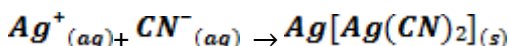


Argentometri dapat menghasilkan endapan atau kompleks, dan dapat dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan indikator yang digunakan untuk menentukan titik akhirnya. Ada tiga metode dalam argentometri, yaitu metode Volhard, metode Fajans, dan metode Mohr (Yusuf, 2019).

c. Titrasi Pembentukan Kompleks

suatu proses titrasi yang menghasilkan pembentukan senyawa atau ion kompleks yang stabil. Sebagai contoh, dalam titrasi antara ion perak dan ion sianida terbentuk ion kompleks $Ag(CN)_2$ yang memiliki kestabilan.

Reaksinya adalah :

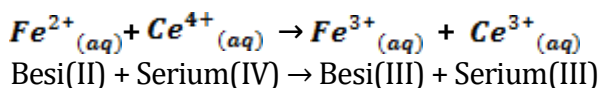


Ion Perak + Ion Sianida $\rightarrow$ Ion kompleks $Ag(CN)_2$

d. Titrasi Reduksi-Oksidasi (Redoks)

Titration Reduksi-Oksidasi (Redoks) adalah suatu metode titrasi yang mengakibatkan perubahan dalam bilangan oksidasi atau valensi reaktan. Sebagai contoh, dalam titrasi antara besi(II) yang mengalami oksidasi menjadi besi(III) oleh serium(IV), yang pada saat yang sama tereduksi menjadi serium(III).

Reaksinya adalah:



2. Terminologi dalam Titration

Alauhdin (2020) menjelaskan bahwa dalam titration volumetri, terdapat beberapa terminologi yang digunakan, yaitu:

- a. Titran merupakan larutan yang ditambahkan dari buret ke dalam larutan yang akan dititrasi.
- b. Titrant adalah larutan yang dititrasi, atau yang menerima penambahan larutan titran.
- c. Larutan standar atau larutan baku merupakan larutan dengan konsentrasi yang diketahui secara akurat, digunakan dalam proses titration. Terdapat dua jenis larutan standar, yaitu larutan standar primer dan larutan standar sekunder.
- d. Zat standar primer merujuk pada zat yang digunakan untuk membuat larutan standar primer. Zat ini memiliki tingkat kemurnian tinggi (99,9% atau lebih), tahan terhadap dekomposisi selama penyimpanan, serta memiliki stabilitas yang baik.
- e. Larutan standar primer adalah larutan standar yang dibuat dari zat standar primer, memiliki konsentrasi yang pasti, stabil, dan tidak berubah.
- f. Larutan standar sekunder merupakan larutan standar yang konsentrasinya ditentukan melalui proses standarisasi dengan larutan standar primer, dan kemudian digunakan sebagai larutan standar dalam titration. Larutan ini dibuat dari zat standar sekunder.
- g. Kurva titration merupakan grafik yang menunjukkan perubahan konsentrasi atau pH larutan yang

- dititrasi terhadap penambahan volume larutan standar selama proses titrasi.
- h. Titik akhir titrasi merupakan titik di mana penambahan titran dihentikan. Titik akhir titrasi ini bisa diidentifikasi melalui perubahan warna larutan.
 - i. Titik ekuivalen adalah titik pada kurva titrasi yang menunjukkan titran dan titrat telah bereaksi sepenuhnya atau sempurna. Titik ini juga dapat disebut sebagai titik akhir teoritis, sedangkan yang diamati selama titrasi adalah titik akhir titrasi. Titrasi yang presisi memiliki titik akhir titrasi yang mendekati titik ekuivalen.
 - j. Kesalahan titrasi merupakan perbedaan antara titik akhir titrasi dan titik ekuivalen. Kesalahan titrasi juga dapat dihitung melalui titrasi blanko, yaitu titrasi yang dilakukan tanpa adanya analit. Volume titran yang digunakan dalam titrasi blanko digunakan untuk mengoreksi volume titran dalam titrasi analit, dengan mengurangi volume titrasi analit dari volume titrasi blanko.
 - k. Indikator merupakan reagen yang memiliki sifat fisik, biasanya berupa perubahan warna, yang dapat berubah dengan cepat di sekitar titik ekuivalen. Indikator digunakan untuk menunjukkan atau mengidentifikasi titik akhir titrasi.

12.5.2 Metode Instrumentasi

Secara instrumental, ada interaksi materi dengan energi. Jenis energi yang dimaksud yaitu cahaya, listrik, panas. Berikut penjelasan dari berbagai macam metode analisa dengan penggunaan energi tersebut (Harjadi, 1986) :

Analisa ini dibedakan berdasarkan penyerapan cahaya emisi cahaya.

1. Kolorimetri dan Spektrofotometri Absorpsi

Metode ini melibatkan pengukuran persentase cahaya yang diserap oleh sampel analit. Prinsipnya adalah saat sinar cahaya melewati sampel analit, sejumlah molekul analit akan menyerap cahaya, sehingga intensitas cahaya akan berkurang secara proporsional. Dengan mengukur intensitas cahaya sebelum dan setelah melewati sampel, dapat ditentukan jumlah analit dalam sampel tersebut.

Cahaya yang digunakan dalam spektrofotometri adalah sinar dengan panjang gelombangnya yang tidak berbeda (mendekati monokromatik), sedangkan dalam kolorimetri perbedaan panjang gelombang bisa sangat besar (lebih polikromatik).

Kolorimetri mengacu pada pengukuran warna, di mana cahaya tampak (spektrum cahaya yang terlihat oleh mata manusia) digunakan dalam pengukuran. Di sisi lain, spektrofotometri tidak terbatas pada spektrum cahaya tampak; selain cahaya tampak, juga mencakup penggunaan sinar ultraviolet (UV) dan inframerah (IR). Oleh karena itu, terdapat istilah spektrofotometri UV, spektrofotometri tampak, dan spektrofotometri IR.

Spektrofotometri Absorpsi Atomik (*Atomic Absorption Spectrophotometry/AAS*) digunakan untuk mengidentifikasi unsur logam. Dalam metode ini, cahaya diteruskan melalui sampel yang diatomkan dengan menguapkan larutan dalam nyala pada suhu tinggi. Proses pemanasan tersebut memecah ikatan kimia pada unsur yang terlibat, menghasilkan atom-atom bebas. Cahaya yang dilewatkan kemudian diserap oleh atom-atom ini, dan pengukuran absorbansinya digunakan untuk mengukur konsentrasi unsur logam dalam sampel.

2. Flouresensi dan Emisi

Pada cara ini yang diukur adalah cahaya yang dipancarkan oleh sampel analit, bukan cahaya yang diserap olehnya. Intensitas pancaran cahaya ini berhubungan dengan jumlah analit dalam sampel. Terdapat beberapa jenis metode dalam hal ini, yaitu:

a. Fotometri nyala (*Flame Photometry*) :

Sampel analit dipanaskan dalam nyala api, sehingga atom-atomnya menjadi tereksitasi dan memancarkan cahaya. Intensitas cahaya ini diukur secara langsung oleh perangkat instrumen.

b. Spektografi :

Pada metode ini, sampel analit dieksitasi dengan energi yang lebih tinggi daripada yang digunakan dalam nyala api. Cahaya emisi yang dihasilkan difraksikan oleh monokromator, kemudian direkam oleh film atau detektor. Intensitas puncak emisi cahaya ini berkaitan dengan jumlah unsur yang terlibat dalam reaksi. Energi listrik sering digunakan untuk menghasilkan eksitasi dalam metode ini.

Metode fluoresensi melibatkan penggunaan cahaya untuk mengeksitasi analit (sampel). Cahaya mengenai sampel dan cahaya ini diserap, sehingga atom atau molekul analit menjadi eksitasi. Energi yang diserap kemudian dilepaskan kembali sebagai cahaya. Pada umumnya, cahaya yang dilepaskan memiliki panjang gelombang yang lebih besar daripada cahaya yang diserap. Spektroskopi Fluoresensi Sinar-X (*X-Ray Fluorescence Spectroscopy*) dilakukan dengan prinsip bahwa analit terekspos pada sinar-X atau sinar katoda, menghasilkan emisi sinar-X. Metode ini digunakan untuk analisis unsur bukan senyawa. Dalam fluoresensi molekul, sampel analit disinari dengan sinar ultraviolet (UV), sehingga

molekul analit memancarkan cahaya, seringkali dalam rentang cahaya tampak.

Spektroskopi Fotoelektron (*Photo-electron Spectroscopy*) analisisnya berdasarkan penyinaran yang mengakibatkan analit memancarkan elektron. Cara lain yang biasa dilakukan adalah cara aktivasi radiokatif dimana analit diberikan sinar radioaktif misalnya dalam Analisis Aktivasi Neutron (*Neutron Activation Analysis*) yang penyinaran analitnya menyerap neutron dan menjadi radioaktif, sehingga terurai dengan memancarkan sinar γ . Intensitas pancaran γ menyatakan banyaknya unsur yang menjadi radioaktif (Harjadi, 1986).

12.6 Peran Kimia Analitik

Kimia analitik memiliki peran yang tak hanya terbatas pada ranah kimia, namun juga memiliki dampak yang signifikan dalam berbagai bidang ilmu dan juga dalam kehidupan sehari-hari serta masyarakat secara umum. Bidang-bidang seperti kedokteran, farmasi, biologi, pertanian, geologi, mineralogi, industri, kesehatan masyarakat, dan pengelolaan lingkungan merupakan contoh tempat penerapan kimia analitik. Ada dua alasan yang menjadikan kimia analitik memiliki beragam aplikasi yang luas. Pertama, kimia analitik memiliki penerapan yang mencakup berbagai sub-disiplin kimia seperti kimia organik, kimia anorganik, kimia fisik, dan biokimia. Kedua, kimia analitik juga mendukung ilmu dan bidang lainnya. Beberapa contohnya adalah:

1. Ilmu lingkungan: Kimia analitik bermanfaat dalam memonitor polusi udara dan air untuk menjaga kualitas lingkungan.
2. Produksi pangan: Analisis kimia membantu mengidentifikasi adanya racun atau bahan berbahaya dalam makanan.

3. Teknik analitik potensiometri dan kolorimetri digunakan untuk mengukur kadar oksigen terlarut dan klorin dalam air.
4. Pertanian: Analisis pestisida pada tanaman yang akan dipanen dapat dilakukan menggunakan kromatografi gas atau HPLC.
5. Penentuan kandungan kalium dan natrium dalam pupuk dapat dilakukan dengan menggunakan teknik AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*).

DAFTAR PUSTAKA

- Alauhdin, M. 2020. *Buku Ajar Kimia Analitik Dasar*. Semarang: UNNES Press.
- Darsiti, S., Siswaningsih, W., dan Suryana, A. 2017. *Kimia Analitik 1*. Banten: Universitas Terbuka.
- Ghufron, A. 2023. *Kimia Analitik Kualitatif Kation dan Anion*.
https://www.academia.edu/24798943/Kimia_Analitik_Kualitatif_Kation_dan_Anion_1.
- Harjadi, 1986. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. Jakarta: Gramedia.
- Johannes, A. S., dan Gozi. 2022. *Kation dan Anion*.
<https://aldoseprajohannes.blogspot.com/2022/03/kation-dan-anion.html>.
- Khopkar, S. M. 2014. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI-Press.
- Pursitasari, I. D. 2022. *Kimia Analitik Dasar dengan Strategi Problem Solving dan Open-ended Experiment*. Bandung: Alfabeta.
- Rohmah, J. dan Rini, C. S. 2020. *Buku Ajar Kimia Analisis*. Sidoarjo: UMSIDA Press.
- Sjahbandi, A. 2013. *Kimia Analitik 1*.
<https://www.slideshare.net/AfifahSjahbandi/kimia-analitik-i>.
- Sulistryarti, H. 2017. *Kimia Analisa Dasar untuk Analisis Kualitatif*. Malang: UB Press.
- Svehla, G. (Setiono & Pudjaatmaka, alih bahasa). 1985. *Vogel Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro, Edisi 5 Bagian I dan Bagian II*. Jakarta: Kalman Media Pusaka.
- Wonorahardjo, S. 2021. *Pengantar Kimia Analitik Modern*. Yogyakarta: ANDI.
- Yusuf, Y. 2019. *Belajar Mudah Kimia Analisis*. Jakarta: EduCenter Indonesia.

BAB 13

PEMANFAATAN KIMIA DALAM INDUSTRI

Oleh Muhrinsyah Fatimura

13.1 Pendahuluan

Pemanfaatan kimia telah menjadi komponen penting dalam industri modern untuk mendorong kemajuan dan inovasi. Dengan membuat bahan mentah menjadi produk akhir yang memiliki nilai moneter dan manfaat yang luas, kimia memainkan peran penting dalam berbagai industri.

Dalam berbagai industri, seperti petrokimia, farmasi, makanan, tekstil, plastik, bahan bakar, dan lainnya, pemanfaatan kimia membantu menghasilkan produk dengan kualitas tinggi dan sifat yang diinginkan melalui penggunaan berbagai proses kimia, teknik sintesis, reaksi kimia, dan proses pemrosesan. (Mahfud, 2018)

Sebagai contoh, industri petrokimia menggunakan kimia untuk mengubah minyak mentah menjadi berbagai produk seperti bahan bakar, plastik, dan serat sintetis. Dalam industri farmasi, kimia memainkan peran penting karena memungkinkan pembuatan obat-obatan yang kompleks dan pengujian kualitas yang ketat.

Kimia digunakan dalam industri makanan untuk pewarnaan, pengawetan, pemrosesan, dan pengembangan rasa; di industri tekstil, mereka memungkinkan pewarnaan serat, pengolahan bahan, dan peningkatan kualitas produk. Industri plastik dan polimer menggunakan kimia untuk membuat berbagai jenis plastik dengan berbagai sifat yang fleksibel dan beragam (Sulaiman, 2016).

Selain itu, dalam proses mengubah minyak bumi menjadi bahan bakar seperti bensin, diesel, dan bahan bakar alternatif, kimia memainkan peran penting dalam industri bahan bakar. (Rahmayanti, Rahmah and Larashati, 2021).

Industri yang menggunakan ilmu kimia tidak hanya meningkatkan kualitas dan efisiensi proses produksi, tetapi juga membuka jalan bagi inovasi dan penemuan teknologi baru yang dapat mengubah cara kita menjalani kehidupan sehari-hari. Namun, penting untuk diingat bahwa penggunaan kimia juga memerlukan pendekatan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan, dengan mengadopsi praktik yang berkelanjutan dan meminimalkan dampak negatifnya terhadap ekosistem kita. Oleh karena itu, penting bagi industri untuk terus menyelaraskan kemajuan teknologi kimia dengan perlindungan lingkungan untuk menciptakan masa depan yang berkelanjutan dan berguna bagi generasi mendatang.

13.2 Dasar-dasar pemanfaatan kimia dalam industri

13.2.1 Konsep Dasar pemanfaatan Kimia Dalam Konteks Industri

Memahami reaksi kimia, pemisahan bahan, sintesis senyawa, pengendalian kualitas, dan proses produksi yang aman dan efisien adalah penting bagi industri. Berikut adalah beberapa konsep dasar kimia yang relevan untuk industri.:

1. Reaksi kimia terjadi ketika berbagai zat kimia bekerja bersama untuk membuat produk baru. Dalam industri, memahami jenis reaksi, kinetika reaksi, dan termokimia sangat penting untuk mengoptimalkan proses produksi dan meningkatkan kualitas produk. (Supriadi, Ibnu and Yahmin, 2018).
2. Industri menggunakan katalisator untuk meningkatkan kecepatan reaksi kimia atau mengubah mekanisme reaksi

tanpa ikut berpartisipasi. Penggunaan katalisator dapat mengurangi konsumsi energi dan mempercepat produksi (Lestari, 2012).

3. Termodinamika membahas bagaimana reaksi kimia mengubah energi dan apakah reaksi akan terjadi secara spontan. Pengetahuan tentang termodinamika membantu dalam desain proses industri yang efektif dan hemat biaya (MR, Kirom, TA Ajiwiguna and Utami, 2021).
4. Untuk memastikan bahwa produk yang dibuat memenuhi standar yang ditentukan, pengendalian kualitas industri sangat penting. Konsep kimia seperti analisis kuantitatif dan kualitatif membantu dalam pengawasan kualitas produk.
5. Sintesis senyawa adalah proses pembuatan senyawa kimia yang lebih kompleks daripada bahan baku sederhana. Anda perlu tahu tentang reaksi kimia dan memilih katalisator untuk merancang proses sintesis yang efisien dan menghasilkan produk dengan rendemen yang tinggi (Rudyanto, 2018).
6. Dalam bidang seperti petrokimia, makanan, dan farmasi, bahan dipisahkan. Teknik seperti distilasi, ekstraksi, filtrasi, dan kristalisasi digunakan untuk memisahkan campuran menjadi bagian-bagiannya..
7. Keamanan dan Lingkungan: Industri mempelajari dasar kimia untuk memahami sifat bahan kimia berbahaya dan mengurangi risiko kecelakaan. Mereka juga mempertimbangkan dampak proses produksi terhadap lingkungan dan memilih metode yang lebih ramah lingkungan..
8. Teknologi Material baru untuk aplikasi di industri seperti elektronik, energi terbarukan, dan sektor transportasi. Pemahaman tentang struktur dan sifat material memungkinkan pengembangan produk yang lebih kuat, ringan, dan tahan lama.

Penggunaan industri konsep dasar kimia membantu mengembangkan teknologi baru, meningkatkan efisiensi proses, dan memproduksi produk dan layanan berkualitas tinggi. Selain itu, penggunaan ilmu kimia dengan bijak dalam industri sangat penting untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan dan perlindungan lingkungan.

13.2.2 Reaksi Kimia utama yang dimanfaatkan dalam proses industri

Dalam industri, ada berbagai reaksi kimia utama yang dimanfaatkan dalam berbagai proses produksi. Beberapa reaksi kimia utama yang paling umum dan penting dalam industri antara lain:

1. Reaksi Oksidasi-Reduksi

Reaksi oksidasi-reduksi sangat penting dalam banyak industri, seperti pembakaran, pembuatan logam, dan kimia organik (Syuhada, Sugiharti and Syafriani, 2022).

2. Reaksi Polimerisasi

Reaksi polimerisasi adalah cara kimia di mana monomer bergabung untuk membuat polimer. Industri plastik, karet, dan serat sintetis sangat bergantung pada reaksi ini untuk membuat berbagai jenis polimer. (Permono, 2018).

3. Reaksi Hidrolisis

Industri makanan, farmasi, dan kimia sering menggunakan proses hidrolisis untuk menghasilkan produk akhir yang diinginkan karena senyawa dipecahkan dengan air dan menghasilkan dua atau lebih senyawa baru. (Tarigan, 2021).

4. Reaksi Sintesis Organik

Industri kimia organik menghasilkan banyak senyawa organik yang kompleks dan beragam melalui berbagai reaksi sintesis, seperti reaksi substitusi, reaksi adisi, dan reaksi eliminasi. (Nasution, R. and Bahi, 2018).

5. Reaksi Fermentasi

Reaksi fermentasi adalah reaksi biokimia di mana mikroorganisme, seperti bakteri atau ragi, menguraikan substrat menjadi produk lain, seringkali dengan menghasilkan gas, alkohol, atau asam organik. Reaksi ini digunakan dalam industri makanan dan minuman, farmasi, dan bioenergi untuk menghasilkan berbagai produk (Yuwono, S.S., Istianah, N. and Mubarak, 2022).

6. Reaksi Hidrogenasi

Reaksi hidrogenasi melibatkan penambahan hidrogen ke suatu senyawa. Proses hidrogenasi digunakan dalam industri kimia dan petrokimia untuk mengubah minyak nabati atau lemak menjadi lemak padat, mengubah senyawa alkena menjadi alkana, dan banyak lagi (Mahfud, M. and Sabara, 2018).

7. Reaksi Sulfonasi

Penggabungan suatu senyawa dengan gugus sulfonat disebut reaksi sulfonasi. Reaksi ini sangat penting untuk pembuatan pewarna, deterjen, dan bahan kimia lainnya. (Mahfud, M. and Sabara, 2018).

8. Reaksi Esterifikasi

Esterifikasi adalah reaksi kimia di mana asam dan alkohol bereaksi untuk membentuk ester dan air. Reaksi ini digunakan dalam industri makanan untuk menghasilkan ester aroma dan dalam industri minyak dan lemak untuk menghasilkan biodiesel (Sumardjo, 2009).

9. Reaksi Hidroksilasi

Hidroksilasi adalah reaksi kimia di mana gugus hidroksil (-OH) ditambahkan ke suatu senyawa. Reaksi ini banyak digunakan dalam industri farmasi untuk membuat obat-obatan dan bahan kimia lain yang memiliki aktivitas biologis (Ifa, 2018).

Ini hanyalah beberapa contoh dari banyak reaksi kimia yang dimanfaatkan dalam berbagai proses industri. Setiap industri memiliki karakteristiknya sendiri dan memanfaatkan reaksi kimia yang sesuai untuk menghasilkan produk yang diinginkan.

13.2.3 Sifat dan Karakteristik bahan kimia yang penting dalam pemanfaatan industri

Bahan kimia memiliki berbagai sifat dan karakteristik yang penting dalam industri, karena sifat-sifat ini mempengaruhi penggunaannya dalam proses produksi dan aplikasi akhir. Berikut adalah beberapa sifat dan karakteristik penting bahan kimia dalam industri:

1. Kelarutan

Kemampuan suatu bahan kimia larut dalam pelarut tertentu menjadi parameter penting dalam industri kimia. Sifat ini digunakan dalam berbagai proses pemisahan, ekstraksi, dan kristalisasi (Mawarnis, 2021).

2. Reaktivitas

Tingkat reaktivitas suatu bahan kimia akan mempengaruhi kecepatan dan jenis reaksi kimia yang terjadi selama proses produksi. Reaktivitas juga perlu dipertimbangkan dalam hal keselamatan dan keamanan.

3. Stabilitas

Stabilitas bahan kimia penting untuk menghindari degradasi atau kerusakan selama penyimpanan, transportasi, dan penggunaan. Bahan kimia yang tidak stabil dapat menyebabkan risiko kecelakaan atau mengurangi kualitas produk.

4. Titik Didih dan Titik Leleh

Titik didih dan titik leleh bahan kimia penting dalam industri karena menentukan suhu operasi dalam proses pemisahan atau proses transformasi fisik lainnya. (Wicaksana and Rachman, 2018)

5. Kekentalan (Viskositas)
Viskositas adalah sifat bahan kimia yang menggambarkan seberapa kental atau cair suatu cairan. Penting untuk proses pengadukan, aliran, dan aplikasi lainnya di berbagai industry
6. Kekerasan
Kekerasan adalah sifat mekanis bahan kimia yang penting dalam industri manufaktur, terutama dalam pemrosesan material seperti logam dan mineral (Suarsana, 2017).
7. Konduktivitas Termal dan Listrik
Konduktivitas termal dan listrik bahan kimia dapat menentukan efisiensi dalam pemanasan atau transfer energi dalam berbagai proses industry (Prihartono and Irhamsyah, 2022).
8. Toksisitas
Sifat toksisitas dari bahan kimia mempengaruhi penanganan, penyimpanan, dan penggunaan yang aman. Industri harus mempertimbangkan potensi bahaya yang dapat ditimbulkan oleh bahan kimia beracun (Kurniawidjaja *et al.*, 2021).
9. Kapasitas Panas Spesifik
Kapasitas panas spesifik adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu bahan kimia. Sifat ini penting dalam desain reaktor dan peralatan lain yang membutuhkan pemanasan atau pendinginan (Wicaksana and Rachman, 2018).
10. Kelenturan dan Kekuatan
Kelenturan dan kekuatan adalah sifat mekanis yang penting dalam berbagai aplikasi industri seperti konstruksi, manufaktur, dan otomotif (Suarsana, 2017).

11. Kestabilan Kimia

Kestabilan kimia menggambarkan seberapa tahan bahan kimia terhadap perubahan kimia atau degradasi selama proses produksi dan pemakaian.

12. Indeks Bias

Indeks bias bahan kimia mempengaruhi kemampuan bahan kimia untuk membelokkan atau mengubah arah cahaya dan penting dalam industri optik dan elektronik.

Penting untuk memahami sifat-sifat ini secara mendalam agar dapat memilih dan mengelola bahan kimia dengan tepat dalam proses industri dan menghasilkan produk yang berkualitas tinggi dengan tingkat keselamatan yang tinggi pula.

13.3 Inovasi Pemanfaatan Kimia Dalam Industri

13.3.1 Inovasi dalam sintesis dan produksi bahan kimia

Seiring dengan perkembangan teknologi dan peningkatan pemahaman tentang ilmu kimia, terdapat berbagai inovasi dalam sintesis dan produksi bahan kimia. Inovasi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi dampak lingkungan, menghasilkan produk yang lebih berkualitas, dan mengurangi biaya produksi. Beberapa inovasi yang signifikan dalam sintesis dan produksi bahan kimia meliputi :

1. *Green chemistry* atau kimia hijau adalah pendekatan yang berfokus pada pengurangan dampak lingkungan dalam sintesis dan produksi bahan kimia. Inovasi ini mencakup penggunaan katalis ramah lingkungan, penggantian bahan kimia berbahaya dengan alternatif yang lebih aman, dan pengurangan limbah berbahaya (Wang, 2008) .
2. Sintesis Katalitik Penggunaan katalis dalam sintesis kimia telah berkembang pesat. Katalis yang efisien dapat menghemat energi dan meningkatkan kecepatan reaksi. (Lestari, 2012).

3. Rekayasa Genetika Dalam produksi bahan kimia, teknik rekayasa genetika digunakan untuk memodifikasi mikroorganisme atau sel-sel tanaman agar dapat menghasilkan senyawa kimia tertentu secara lebih efisien (Sutarno, 2016).
4. Proses Mikroreaktor menggunakan reaktor kecil dengan ukuran mikro atau nano untuk menggantikan reaktor konvensional. Inovasi ini memungkinkan reaksi kimia berlangsung dengan lebih efisien dan menghasilkan produk dengan waktu reaksi yang lebih pendek (Anggraeny *et al.*, 2018).
5. Proses Biorafinasi adalah Metode yang menghasilkan berbagai produk kimia dan bahan bakar dengan menggunakan biomassa dari berbagai sumber, seperti limbah pertanian, limbah industri, dan tanaman.
6. Sintesis dengan Metode Ramah Energi Inovasi dalam metode sintesis termasuk penggunaan metode yang ramah energi, seperti reaksi dengan bantuan cahaya (fotokimia), reaksi dengan bantuan suara (sonokimia), dan reaksi dengan bantuan tekanan (barokimia).
7. Proses Sirkuler Inovasi dalam Dalam proses sirkuler, limbah dapat digunakan sebagai bahan baku untuk sintesis kimia atau produk sampingan dari suatu proses dapat digunakan sebagai bahan baku untuk proses lain.
8. Produksi Terpadu: Untuk meningkatkan efisiensi secara keseluruhan, unit produksi terpadu dapat menggabungkan berbagai tahap produksi bahan kimia.
9. Penggunaan Katalis Biologi: Proses biokatalisis, di mana enzim atau mikroorganisme digunakan sebagai katalis dalam reaksi kimia, telah meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi limbah kimia yang dihasilkan (Purwani, 2018).

10. Teknologi Sensor dan Kendali Otomatis digunakan untuk mengontrol proses produksi secara akurat, memantau parameter penting, dan mengoptimalkan efisiensi produksi.

Inovasi-inovasi ini terus berkembang seiring berjalannya waktu dan semakin meningkatkan kemampuan industri untuk menghasilkan bahan kimia dengan cara yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan inovatif.

13.3.2 Nanoteknologi dalam industri kimia

Nanoteknologi adalah bidang yang mempelajari cara mengubah dan menggunakan material pada skala nanometer (1 hingga 100 nanometer). Dalam industri kimia, ini telah membawa banyak inovasi baru dan aplikasi yang menarik. (Prasetyo, 2020). Berikut adalah beberapa contoh penggunaan nanoteknologi dalam industri kimia:

1. Penggunaan nanopartikel, seperti nanotube, dan nanopartikel, memiliki luas permukaan yang besar, memungkinkan material untuk meningkatkan reaktivitas dan kekuatan. (Prasetyo, 2020).
2. Dalam industri kimia, katalis nano memiliki luas permukaan yang besar, yang memungkinkan reaksi kimia berjalan lebih cepat dan lebih efisien serta mengurangi konsumsi energi. (Prasetyo, 2020).
3. Dalam industri farmasi, nanoteknologi telah digunakan untuk mengirimkan obat dengan lebih baik. Nanopartikel obat memiliki kemampuan untuk membawa dan mengirimkan obat ke area tubuh yang ditargetkan dengan lebih tepat, mengurangi risiko efek samping, dan meningkatkan efisiensi pengobatan (Budiman *et al.*, 2017).
4. Industri kimia telah menggunakan sensor nanoteknologi untuk meningkatkan deteksi dan analisis berbagai senyawa kimia. Sensor nanoteknologi yang sensitif dan selektif dapat

- mendeteksi bahan kimia dalam jumlah yang sangat kecil. (Budiman *et al.*, 2017).
5. Bahan Katalitik Nanostruktur: Pengembangan bahan katalitik yang memiliki struktur nano yang terkontrol dengan baik telah dimungkinkan oleh nanoteknologi. Bahan katalitik nanostruktur ini meningkatkan aktivitas dan selektivitas katalis, yang menghasilkan produk dengan rendemen yang lebih tinggi. (Budiman *et al.*, 2017).
 6. Pembungkus Nano: Pelapisan nano atau pembungkus dapat digunakan untuk meningkatkan kelarutan dan stabilitas bahan kimia seperti makanan, pewarna, atau bahan aktif dalam produk. (Ariningsih, 2016).
 7. Baterai Nano: Material nano telah digunakan dalam pembuatan baterai dan sel surya, yang dapat meningkatkan kapasitas dan efisiensi energi. (Majdi *et al.*, 2021).
 8. Material Self-Healing Material dengan kemampuan self-healing telah dibuat menggunakan nanoteknologi. Ini memiliki kemampuan untuk memperbaiki diri sendiri dari retakan atau kerusakan kecil. (Shields *et al.*, 2020).
 9. Penggunaan Nanoteknologi dalam Pencemaran Lingkungan: Pencemaran lingkungan telah ditangani dengan nanoteknologi. Misalnya, nanomaterial dapat digunakan sebagai adsorben untuk mengeluarkan polutan dari tanah atau air (Indonesia and Peternakan, 2022).
 10. Penggunaan Nanoteknologi dalam Produk Konsumen: Nanoteknologi telah digunakan dalam beberapa produk konsumen, seperti krim tabir surya yang mengandung partikel nano untuk memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap sinar matahari ultraviolet. (Dengan, Aktif and Sistem, 2022).

Kemajuan nanoteknologi menawarkan banyak peluang untuk meningkatkan berbagai aspek industri kimia, seperti efisiensi

produksi, keamanan, dan keberlanjutan. Namun, penggunaan nanomaterial dan teknologi nano dalam industri juga harus mempertimbangkan risiko dan dampak lingkungannya.

13.3.3 Proses Hijau (*Green Chemistry*) dalam industri

Proses hijau, juga dikenal sebagai kimia hijau, adalah metode dalam industri kimia yang bertujuan untuk mengurangi dampak buruk yang disebabkan oleh manusia dan lingkungan melalui penggunaan bahan kimia yang lebih ramah lingkungan, proses produksi yang lebih efisien, dan pengurangan jumlah bahan berbahaya dan limbah. Setelah diusulkan oleh para ahli kimia pada awal tahun 1990-an, prinsip-prinsip *Green Chemistry* terus dikembangkan dan diadopsi oleh industri di seluruh dunia. Beberapa prinsip utama dari Proses Hijau (*Green Chemistry*) dalam industri meliputi (Articles, 2019),(Wahidah *et al.*, 2021),(Ivanković, 2017):

1. Pencegahan Pencemaran konsep ini berfokus pada mengurangi jumlah bahan berbahaya atau limbah yang dihasilkan selama proses produksi. Industri berusaha mengurangi pencemaran sebisa mungkin dengan menggunakan bahan baku yang lebih ramah lingkungan dan menghindari penggunaan bahan beracun atau berbahaya.
2. Efisiensi Atom Istilah "efisiensi atom" mengacu pada bagaimana bahan baku dapat digunakan secara efisien dalam proses sintesis kimia tanpa meninggalkan limbah atau produk sampingan. Industri berusaha mengoptimalkan proses produksi mereka sehingga sebanyak mungkin bahan baku dapat diubah menjadi produk akhir yang diinginkan.
3. Desain Bahan yang Lebih Aman Industri berusaha mengganti bahan kimia yang berbahaya atau beracun dengan bahan kimia yang lebih aman tanpa mengurangi kualitas produk. Ini termasuk pembuatan bahan kimia yang lebih ramah lingkungan dan tahan lama.

4. Pengurangan Penggunaan Pelarut Berbahaya Strategi hijau berfokus pada penggunaan pelarut yang lebih aman dan ramah lingkungan, atau bahkan mengurangi ketergantungan pada pelarut dengan mengubah proses sintesis.
5. Energi Efisien Industri berusaha untuk mengoptimalkan penggunaan energi selama proses produksi dan menggunakan metode yang lebih efisien untuk memanfaatkan energi.
6. Pengurangan Risiko Kecelakaan Penggunaan bahan kimia berbahaya dapat menyebabkan kecelakaan atau insiden yang merugikan bagi manusia dan lingkungan. Proses Hijau berusaha untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko kecelakaan atau bocornya bahan kimia berbahaya.
7. Pemanfaatan Bahan Baku Terbarukan industri mencari cara untuk memanfaatkan bahan baku terbarukan, seperti biomassa dan limbah organik, untuk mengurangi ketergantungan pada bahan baku fosil yang terbatas.
8. Penggunaan Katalis: Proses hijau mendorong penggunaan katalis yang ramah lingkungan dan efisien, yang dapat meningkatkan efisiensi reaksi kimia dan mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan selama proses produksi.

Industri kimia dapat mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan proses produksinya dengan menerapkan prinsip-prinsip kimia hijau ini. Dengan berfokus pada inovasi teknologi yang ramah lingkungan, industri kimia dapat berkontribusi pada upaya global untuk mencapai pembangunan berkelanjutan.

13.4 Pemanfaatan Kimia dalam Industri Spesifik

13.4.1 Kimia Farmasi dan Bioteknologi

Dua bidang ilmu yang sangat penting dalam pengembangan dan pembuatan obat-obatan dan produk kesehatan adalah kimia farmasi dan bioteknologi. Meskipun keduanya berfokus pada bidang yang berbeda, keduanya memainkan peran penting dalam meningkatkan kesehatan global dan meningkatkan kualitas hidup manusia. Berikut ini adalah penjelasan lebih lanjut tentang bioteknologi dan kimia farmasi:

1. **Kimia Farmasi:** Kimia farmasi adalah cabang ilmu kimia yang berkaitan dengan penelitian, pengembangan, dan pembuatan obat atau farmasetika. Ahli kimia farmasi berkonsentrasi pada pemahaman tentang sifat dan reaksi kimia dari senyawa-senyawa yang berpotensi sebagai obat. Mereka melakukan penelitian untuk mengidentifikasi, mensintesis, dan memahami struktur senyawa kimia yang berpotensi memiliki efek farmakologis untuk mengobati berbagai penyakit. (Harahap, 2023). Dalam kimia farmasi, penelitian dimulai dengan menentukan target pengobatan atau molekul yang menyebabkan penyakit. Setelah itu, peneliti mencari senyawa kimia yang dapat bekerja dengan target untuk mencapai efek pengobatan yang diinginkan. Sebelum otoritas regulasi menyetujui penggunaan senyawa ini sebagai obat, mereka harus diuji secara menyeluruh melalui berbagai uji praklinik dan klinis. Uji ini harus dilakukan untuk menilai seberapa efektif, berbahaya, dan aman senyawa tersebut. (Harahap, 2023).
2. **Bioteknologi** mencakup penggunaan organisme hidup, sel, atau komponen biologis untuk membuat produk atau proses yang bermanfaat. Dalam bidang medis dan farmasi, bioteknologi berfokus pada pengembangan vaksin, obat, dan terapi medis berbasis biologis melalui teknologi DNA rekombinan dan manipulasi genetika. (Sihotang, 2022).

Dalam bioteknologi, mikroorganisme atau sel-sel tanaman yang dimodifikasi secara genetik dapat digunakan untuk menghasilkan protein seperti hormon insulin atau faktor pembekuan darah, yang digunakan dalam pengobatan berbagai penyakit. Selain itu, terapi gen dan terapi sel adalah aplikasi bioteknologi lainnya yang sedang berkembang dalam pengobatan penyakit genetik dan degenerative. (Sihotang, 2022).

Salah satu perbedaan utama antara bioteknologi dan kimia farmasi adalah bahwa bioteknologi menggunakan organisme hidup atau komponen biologis untuk menghasilkan produk medis, sedangkan kimia farmasi berkonsentrasi pada pembuatan obat-obatan melalui sintesis dan penelitian senyawa kimia. Kedua melengkapi satu sama lain dan membantu kemajuan dalam pengobatan dan pelayanan kesehatan.

13.4.2 Kimia Petrokimia dan Energi

Berikut ini adalah penjelasan lebih lanjut tentang kimia petrokimia dan energi, dua bidang yang saling terkait dan sangat penting untuk industri energi, produksi bahan kimia, dan keberlanjutan lingkungan:

1. **Kimia Petrokimia:** Kimia Petrokimia adalah cabang kimia yang berfokus pada pengolahan minyak bumi dan gas alam menjadi berbagai produk kimia dan bahan bakar. Minyak bumi dan gas alam adalah sumber daya alam yang mengandung senyawa hidrokarbon dan bahan kimia lainnya. Proses pengolahan minyak bumi meliputi distilasi, katalisis, kraking, dan proses lainnya untuk memisahkan dan mengubah komponen minyak bumi menjadi produk yang lebih bernilai tambah. Produk utama dari industri petrokimia termasuk bahan bakar fosil seperti bensin, diesel, dan bahan bakar jet, serta berbagai bahan kimia dasar seperti etilena, propilena, dan benzene. Bahan kimia

ini merupakan bahan baku penting dalam pembuatan plastik, serat sintetis, pupuk, karet, dan berbagai produk lainnya yang digunakan dalam industri manufaktur dan konsumen (Sulistiyono, 2015).

2. Kekuatan atau daya yang digunakan untuk melakukan tugas atau menghasilkan listrik disebut energi. Energi digunakan dalam berbagai bidang kehidupan, seperti industri, transportasi, dan kebutuhan rumah tangga. Sumber energi dapat berasal dari berbagai sumber, seperti bahan bakar fosil (gas alam, minyak bumi, batu bara), energi nuklir, energi surya, angin, dan hidro.

Meskipun bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama di banyak negara, penggunaan berlebihan dan pembakarannya menyebabkan polusi udara dan emisi gas rumah kaca, yang berdampak pada kesehatan manusia dan perubahan iklim. Akibatnya, ada dorongan di seluruh dunia untuk beralih ke sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, seperti energi surya, angin, dan biomassa. Produksi bahan kimia petrokimia, seperti plastik dan serat sintetis, membutuhkan banyak energi. Selain itu, industri petrokimia adalah konsumen utama bahan bakar fosil. (Setyono and Kiono, 2021). Oleh karena itu, pengembangan teknologi yang lebih efisien dan inovasi dalam Kimia Petrokimia dan Energi menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak lingkungan dan mencapai keberlanjutan energi. Dalam beberapa tahun terakhir, terdapat peningkatan kesadaran tentang pentingnya keberlanjutan energi dan perlunya peralihan dari bahan bakar fosil ke energi terbarukan. Pengembangan teknologi yang ramah lingkungan dan inovasi dalam Kimia Petrokimia dan Energi diarahkan untuk mencapai pengolahan minyak bumi dan gas alam yang lebih efisien serta memanfaatkan sumber energi terbarukan untuk mengurangi

emisi gas rumah kaca dan mencapai energi yang lebih bersih dan berkelanjutan (Sulistiyono, 2015).

13.4.3 Kimia Material dan Manufaktur

Dua bidang ini saling terkait dan sangat penting untuk pengembangan dan pembuatan bahan yang digunakan dalam berbagai industri. Perincian lebih lanjut tentang kimia material dan manufaktur dapat ditemukan di sini:

Kimia Material adalah bidang ilmu kimia di mana penelitian, sintesis, karakterisasi, dan penggunaan material difokuskan. Material adalah zat yang digunakan untuk membuat struktur, peralatan, dan produk dalam berbagai industri, seperti mobil, elektronik, konstruksi, kesehatan, dan energi. Kimia material mencakup pemahaman tentang sifat-sifat material, seperti komposisi, struktur, kekuatan, konduktivitas, dan kemampuan tahan terhadap lingkungan dan penggunaan (Jamarun, 2023). Peneliti dalam kimia material mengembangkan dan mengoptimalkan material dengan karakteristik tertentu untuk tujuan tertentu. Misalnya, mereka dapat mengembangkan material yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi untuk digunakan dalam perangkat elektronik atau material yang tahan terhadap korosi dan panas untuk digunakan dalam industri pesawat terbang (Jamarun, 2023).

Manufaktur: Manufaktur adalah proses membuat barang dan produk dari bahan mentah atau material yang telah diolah sebelumnya. Proses ini terdiri dari berbagai tahapan, seperti pemotongan, pengecoran, pembentukan, penggabungan, dan penyelesaian, dan dilakukan di pabrik atau fasilitas manufaktur yang memiliki peralatan dan mesin khusus. (Jamarun, 2023). Untuk menghasilkan produk yang berfungsi dengan baik, manufaktur sangat bergantung pada ketersediaan material kimia berkualitas tinggi dan inovasi. Material yang digunakan dalam proses manufaktur harus memiliki sifat yang sesuai

dengan tujuan dan lingkungannya. Hubungan antara Kimia Material dan Manufaktur adalah bahwa penelitian dalam Kimia Material berkontribusi pada pengembangan material yang lebih baik dan inovatif, yang pada gilirannya meningkatkan kualitas dan efisiensi proses manufaktur. Inovasi dalam material dapat mengurangi biaya produksi, meningkatkan keberlanjutan, dan membuka peluang baru untuk produk-produk yang lebih canggih dan berkualitas tinggi. Selain itu, manufaktur juga memiliki peran dalam penerapan Kimia Material. Produksi harus dilakukan dengan hati-hati dan menggunakan teknologi yang tepat untuk memastikan bahwa material yang dihasilkan memenuhi standar yang diharapkan karena harus memenuhi spesifikasi dan sifat yang diinginkan untuk aplikasi tertentu. (Jamarun, 2023).

Kombinasi manufaktur dan kimia material adalah kunci untuk kemajuan teknologi dan pengembangan produk inovatif dalam berbagai industri. Kerja sama antara kedua bidang ini memungkinkan pengembangan material yang lebih unggul dan proses manufaktur yang lebih efisien dan berkelanjutan.

13.4.4 Kimia Pangan dan Gizi

Dua bidang ilmu ini terkait erat satu sama lain dan sangat penting untuk memahami apa yang ada dalam makanan dan bagaimana hal itu berdampak pada kesehatan manusia. Detail lebih lanjut tentang kimia pangan dan gizi dapat ditemukan di sini:

1. Kimia Pangan: Cabang ilmu kimia ini berkonsentrasi pada studi tentang komposisi, struktur, sifat fisik, dan reaksi kimia makanan. Para ahli kimia pangan menganalisis berbagai komponen makanan, seperti karbohidrat, lemak, protein, vitamin, mineral, dan senyawa lainnya. Mereka juga mempelajari bagaimana bahan kimia berubah selama pengolahan dan penyimpanan makanan. Dalam memahami

kualitas, keselamatan, dan ketahanan makanan, penelitian kimia pangan sangat penting. Misalnya, penelitian kimia pangan dapat membantu dalam menemukan kontaminan atau aditif makanan yang mungkin berbahaya bagi kesehatan. Selain itu, analisis kimia pangan dapat mengukur kandungan nutrisi dan nilai gizi makanan yang dikonsumsi. (Nur, Mokhammad and Sunarharum, 2019).

2. Gizi: Ilmu gizi mempelajari zat-zat yang dibutuhkan tubuh manusia untuk tumbuh, berkembang, berfungsi, dan tetap sehat. Nutrisi, yaitu nutrisi yang kita peroleh dari makanan yang kita konsumsi, adalah komponen penting dari gizi. Makronutrien (karbohidrat, protein, dan lemak) dan mikronutrien adalah bagian dari nutrisi. Kesehatan manusia bergantung pada gizi yang baik. Kelebihan atau kekurangan nutrisi dapat menyebabkan masalah kesehatan dan penyakit. Misalnya, kekurangan vitamin dan mineral tertentu dapat menyebabkan defisiensi nutrisi, dan kelebihan lemak jenuh dan gula dapat meningkatkan risiko obesitas dan penyakit jantung. (Banowati, 2014).

Salah satu hubungan antara kimia pangan dan gizi adalah bahwa kimia pangan memberikan informasi penting tentang komposisi, kualitas, dan kandungan nutrisi makanan, dan data kimia pangan diperlukan untuk mengevaluasi kualitas nutrisi dalam makanan yang dikonsumsi. Selain itu, kimia pangan juga membantu dalam menemukan metode pengolahan makanan yang paling efektif untuk mempertahankan kualitas nutrisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeny, B.O.D. *et al.* 2018. 'Preparasi dan Karakterisasi Nanobiokatalis Mikroreaktor dengan Polimer Monolitik Nanopori Enzim Termobilisasi', *Alchemy*, 5(3), p. 69. doi:10.18860/al.v5i3.3616.
- Ariningsih, E. 2016. 'DAN PENGOLAHAN PANGAN DI INDONESIA Prospects of Nanotechnology Application in Agriculture and Food Processing in Indonesia', (c), pp. 1–20.
- Articles, I. 2019. 'Pengaplikasian Prinsip-Prinsip Green Chemistry dalam Pelaksanaan Pembelajaran Kimia sebagai Pendekatan untuk Pencegahan Pencemaran Akibat Bahan-Bahan Kimia dalam Kegiatan Praktikum di Laboratorium', 2(2), pp. 67–73.
- Banowati, L. 2014. *Ilmu Gizi dasar*. Deepublish.
- Budiman, A. *et al.* 2017. 'Review Artikel: Penggunaan Teknologi Nano Pada Formulasi Obat Herbal', *Farmaka*, 15, pp. 29–41.
- Dengan, K, Aktif, Z. and Sistem, D. 2022. 'Kosmeseutikal Dengan Zat Aktif Dalam Sistem Liposom', *Journal of The Indonesian Society of Integrated Chemistry*, 14(1), pp. 10–20.
- Harahap. 2023. *Buku Ajar Kimia Farmasi*. Samudra Biru.
- Ifa, I. 2018. *Pembuatan Bahan Polimer dari Minyak sawit*. Nas Media Pustaka.
- Indonesia, J.P. and Peternakan, P.R. 2022. 'Efektivitas Penggunaan Nanomineral pada Pakan terhadap Peningkatan Performa Ayam: Review', 24(3), pp. 237–251. doi:10.25077/jpi.24.3.237-251.2022.
- Ivanković, A. 2017. 'Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice', *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 6(3), p. 39. doi:10.11648/j.ijrse.20170603.12.
- Jamarun, N. 2023. *KIMIA MATERIAL*. Edited by N. Rismawati. CV WIDINA MEDIA UTAMA.

- Kurniawidjaja, L.M. *et al.* 2021. *Konsep Dasar Toksikologi Industri, Fkm Ui.*
- Lestari, D.Y. 2012. 'Pemilihan Katalis Yang Ideal', *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, pp. 1–6.
- Mahfud, M. and Sabara, Z. 2018. *Industri Kimia Indonesia.* Deepublish.
- Mahfud, Z.S. 2018. *Industri Kimia Indonesia.* Deepublish. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=y4RJDwAAQBAJ>.
- Majdi, H.S. *et al.* 2021. 'Nano and Battery Anode: A Review', *Nanoscale Research Letters* [Preprint]. doi:10.1186/s11671-021-03631-x.
- Mawarnis, E.R. 2021. 'Kimia Dasar II', *Deepublish* [Preprint].
- MR, Kirom, TA Ajiwiguna and Utami, A. 2021. *Termodinamika Teknik.* Syiah Kuala University Press.
- Nasution, R. and Bahi, M. 2018. *Kimia Organik Sintesis.* Syiah Kuala University Press.
- Nur, Mokhamad and Sunarharum, W.B. 2019. *Kimia Pangan.* Universitas Brawijaya Press.
- Permono, A. 2018. *Mengenal polimer dan polimerasisasi.* UGM PRESS.
- Prasetyo, K.W. 2020. 'APLIKASI NANOTEKNOLOGI DALAM INDUSTRI HASIL HUTAN (Application Of Nanotechnology In Forest Products Industry)', *Jurnal Akar*, 9(1), pp. 13–24. doi:10.36985/jar.v9i1.189.
- Prihartono, J. and Irhamsyah, R. 2022. 'Analisis Konduktivitas Termal pada Material Logam (Tembaga, Alumunium dan Besi)', *Jurnal Teknik Mesin Presisi*, 24(2), pp. 49–54.
- Purwani, N.N. 2018. 'Enzim : Aplikasi di Bidang Kesehatan Sebagai Agen Terapi', *QUANTUM: Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 9(2), pp. 168–176.

- Rahmayanti, L., Rahmah, D.M. and Larashati, D. 2021. 'Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Minyak Dan Gas Bumi Di Indonesia', *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)*, 3(2), pp. 9–16.
- Rudyanto, M. 2018. 'The Role of Organic Synthesis in Drug Discovery and Development (Peran Sintesis Organik dalam Penemuan dan Pengembangan Obat)', *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya (SNKP)*, (November), pp. 22–23.
- Setyono, A.E. and Kiono, B.F.T. 2021. 'Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050', *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 2(3), pp. 154–162. doi:10.14710/jebt.2021.11157.
- Shields, Y. *et al.* 2020. 'Review of Road Materials Self-healing: Problems and Perspective Review of Road Materials Self-healing: Problems and Perspective'. doi:10.1088/1757-899X/855/1/012010.
- Sihotang. 2022. *Pengantar Bioteknologi*. Tohar Media.
- Suarsana. 2017. 'Pengetahuan Material Teknik Universitas Udayana', *Modul Pengetahuan Material Teknik*, pp. 01–71. Available at: https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_1_dir/2258fb8a46902e19c68aae1fe8c0b826.pdf.
- Sulaiman, F. 2016. *Mengenal Industri Petrokimia*. Serang: Untirta Press.
- Sulistiyono. 2015. 'PRODUK PETROKIMIA DARI MINYAK DAN GAS BUMI MANFAAT', *Swara Patra*, 05(1).
- Sumardjo, D. 2009. *Pengantar Kimia Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran*. EGC.

- Supriadi, S., Ibnu, S. and Yahmin, Y. 2018. 'Analisis Model Mental Mahasiswa Pendidikan Kimia Dalam Memahami Berbagai Jenis Reaksi Kimia', *Jurnal Pijar Mipa*, 13(1), pp. 1–5. doi:10.29303/jpm.v13i1.433.
- Sutarno. 2016. 'Rekayasa Genetik dan Perkembangan Bioteknologi di Bidang Peternakan', *Proceeding Biology Education Conference*, 13(1), p. 23.
- Syuhada, F.A., Sugiharti, G. and Syafriani, D. 2022. 'Reaksi Oksidasi Reduksi dalam Kembang Api', pp. 1–27.
- Tarigan, I.L. 2021. *Dasar-Dasar Kimia Air, Makanan dan Minuman*. Media Nusa Creative (MNC Publishing).
- Wahidah, S. *et al.* 2021. 'Sosialisasi Prinsip Green Chemistry untuk Meningkatkan Kesadaran Akan Bahaya Limbah Kimia Terhadap Lingkungan pada Mahasiswa Prodi Pendidikan Kimia FKIP UNRAM', *Jurnal Pengabdian Masyarakat Sains Indonesia (JPMSI)*, 3(2), pp. 127–133.
- Wang, Z. 2008. 'Green Chemistry: Recent Advances in Developing Catalytic Processes in Environmentally-Benign Solvent Systems', pp. 1–43. Available at: <http://ccc.chem.pitt.edu/wipf/Frontiers/Zhiyong.pdf%0Apapers3://publication/uuid/E474A990-17EB-4992-8E42-ACC09C4A451D>.
- Wicaksana, A. and Rachman, T. 2018. *Kimia 2, Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Available at: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>.
- Yuwono, S.S., Istianah, N. and Mubarak, A.. 2022. *Kinetika Reaksi pada Bahan Pangan dan Produk Fermentasi*. Universitas Brawijaya Press.

BAB 14

INOVASI DALAM KIMIA

Oleh Siti Nurul Afifah

14.1 Pengertian Inovasi

Inovasi merupakan perubahan ke arah pembaruan dalam hal ide, gagasan, prosedur, maupun hal-hal yang lebih spesifik dan disengaja melalui program yang terencana serta terstruktur untuk mencapai tujuan tertentu. Keberhasilan suatu inovasi dapat terlihat apabila perancangan serta penerapan proses dan hasil produk, layanan, dan metode baru tersebut menghasilkan suatu peningkatan kualitas yang lebih efektif, efisien, dan ekonomis (Sa'ud, 2014).

Schumpeter mengenalkan istilah inovasi pada tahun 1934 yang berasal dari kata *to innovate* yang maknanya mengkreasikan dan menerapkan suatu "*kombinasi baru*" baik berupa produk, jasa, proses kerja, kebijakan, serta sistem suatu hal untuk menambah nilai, fungsi, dan manfaat (De Jong, J & Kemp, 2003).

Menurut Richard M. Gross inovasi dalam dunia kimia khususnya kimia industri sangat penting sekali, selain sebagai media penunjang bisnis berbasis teknologi yang mampu meningkatkan kualitas dari suatu perusahaan di bidang kimia. Dalam dunia industri kimia adanya sebuah inovasi harus berdasarkan sebuah kegiatan penelitian, pengembangan, atau perekayasaan sehingga dapat secara efektif, praktis, dan efisien, serta ekonomis untuk dapat diterapkan dalam suatu proses produksi sebuah industri sehingga menghasilkan produk yang mempunyai nilai lebih baik dari sebelumnya (Research Council, 2003).

14.2 Ciri dan Karakteristik Inovasi

Ciri-ciri dari sebuah inovasi antara lain adalah (Research Council, 2003) :

1. Suatu inovasi harus menghasilkan sebuah unsur kebaruan dari suatu buah pemikiran yang asli dan terbaru.
2. Suatu inovasi mempunyai suatu hal yang unik dari sisi ide, program, tatanan, maupun sistem dengan kemungkinan produk yang diinginkan.
3. Suatu inovasi merupakan suatu hal yang berdasarkan suatu ide dan pemikiran terbaru yang terencana dan matang sehingga membutuhkan waktu dan tidak bersifat tergesa-gesa.
4. Suatu inovasi mempunyai tujuan dan target tertentu yang akan dicapai sehingga membutuhkan metode dan strategi tertentu dalam mencapai target suatu inovasi.

Menurut Li Zhao dkk. pada tahun 2023 bahwa karakter suatu inovasi diantaranya adalah :

1. Kelebihan yang relatif (*Relative Advantage*)
Memberikan suatu kelebihan dan kemanfaatan bagi penerimanya baik dari sisi ekonomi, efisiensi, nilai, kepuasan, atau hal lain yang dirasakan saat menerapkan suatu inovasi.
2. Kompatibilitas (*Compatibility*)
Suatu inovasi itu bersifat kompatibel yaitu sesuai dengan suatu nilai, pengalaman yang telah lalu, serta kebutuhan penerima akan mudah diterima dan diterapkan sedangkan yang tidak sesuai dengan nilai dan norma masyarakat maka tidak akan mudah diterapkan.
3. Tingkat Kesulitan (*Complexity*)
Tingkat kesulitan suatu inovasi mempengaruhi proses penyebaran inovasi karena faktor kemudahan suatu inovasi untuk dapat dimengerti dan diterima.

4. Kemampuan dilakukan suatu penelitian uji coba (*Triability*)
Suatu inovasi harus mampu memberikan kelebihan-kelebihan yang dapat dilakukan suatu penelitian uji-coba.
5. Kemampuan untuk dilakukan pengamatan atau penelitian (*Observability*)
Inovasi yang dapat dilakukan penelitian uji-coba maka dapat diamati hasil inovasinya melalui suatu penelitian uji-coba.

14.3 Jenis-Jenis Inovasi

Jenis-jenis inovasi meliputi hal berikut (Sa'ud, 2014):

1. Inovasi Hasil Produk (*Product's Innovation*)
Inovasi Produk dalam menghasilkan produk terbaru yang lebih baik lagi.
2. Inovasi Jasa (*Service's Innovation*)
Inovasi pelayanan dalam menghasilkan metode baru berupa jasa pelayanan terbaru untuk customer dengan baik.
3. Inovasi Proses (*Proccess's Innovation*)
4. Inovasi proses merupakan metode terbaru dalam menghasilkan produk atau jasa yang lebih efektif dan efisien.

Jenis inovasi berdasarkan tingkat kebaruan terdapat 4 macam, diantaranya adalah sebagai berikut (Sa'ud, 2014):

1. Inovasi Inkremental
Pembaruan yang ada pada inovasi ini merupakan sebuah peningkatan kualitas dari komponen atau bagian yang sudah ada sehingga terdapat perubahan peningkatan dari aspek yang diperbarui.
2. Inovasi Radikal
Pembaruan yang dilakukan dalam inovasi ini merupakan pembaruan total baik dari sisi komponen maupun sistem yang telah ada.

3. Inovasi Modular

Pembaruan ini dilakukan pada suatu komponen atau bagian akan tetapi sistem yang digunakan masih tetap.

4. Inovasi Arsitektur

Pembaruan yang dilakukan pada sistem yang sudah ada menggunakan teknik baru untuk meningkatkan komponen yang sudah ada tanpa harus mengubah komponen tersebut.

14.4 Komponen Inovasi

Komponen atau bagian dari suatu inovasi harus mempunyai suatu hal pokok penting diantaranya adalah sebagai berikut (Dimitrova, 2018):

1. Inovasi berupa gagasan, ide, teknik, atau barang yang dianggap terbaru oleh seseorang individu yang menerima gagasan, ide, teknik, maupun barang tersebut.

2. Media komunikasi

Orang lain dapat mengetahui adanya suatu inovasi atau pembaruan dari media informasi yang digunakan untuk menyebarkan adanya suatu pembaruan. Ada dari media massa seperti jurnal penelitian dan buku, ada juga dari media elektronik yang lebih cepat dan efisien proses komunikasinya.

3. Jangka waktu

Dalam mengenalkan suatu pembaruan kepada orang lain membutuhkan waktu yang berbeda-beda.

4. Sistem sosial

Warga masyarakat merupakan bagian dari sistem sosial yang nantinya akan menerima suatu inovasi atau pembaruan, baik sistem sosial secara individu maupun secara organisasi atau kelompok formal maupun non-formal. Jika ada banyak perbedaan sistem sosial, maka suatu inovasi tidak akan dapat diterima oleh sistem sosial yang ada di sekitarnya.

14.5 Tahapan dan Proses Inovasi

Dalam menerapkan suatu inovasi yang baru maka dibutuhkan suatu proses tahapan yang harus dilalui diantaranya adalah sebagai berikut (De Jong, J & Kemp, 2003):

1. Tahap Edukasi

Suatu pembaruan atau inovasi agar mampu dikenal oleh penerima, maka harus diinformasikan kepada penerima informasi atau orang lain. Proses edukasi dapat dilakukan melalui media cetak offline seperti koran, majalah, jurnal penelitian, atau melalui media sosial online. Sehingga para penerima informasi atau masyarakat dapat mengetahui adanya informasi pembaruan atau inovasi yang akan dikenalkan.

2. Tahap Persuasi

Setelah para penerima informasi atau sebagian masyarakat mengetahui terkait inovasi yang telah dikenalkan. Maka diharapkan penerima tersebut tertarik atau berminat dengan informasi suatu inovasi yang telah diberikan. Minimal ada beberapa sekelompok yang mau menerima inovasi tersebut, kemudian tertarik dan berminat dalam mengimplementasikan suatu gagasan atau ide, teknik, proses maupun produk inovatif yang telah dikenalkan tersebut.

3. Tahap Pengambilan Keputusan

Pada tahapan ini beberapa kelompok individu maupun kelompok penerima informasi inovatif ini akan memutuskan untuk menerima atau menolak informasi inovatif tersebut.

4. Tahap Penerapan Inovasi

Setelah penerimaan informasi inovatif baik berupa gagasan atau ide, proses, teknik, maupun produk inovatif yang telah dikenalkan maka dilanjutkan dengan proses adopsi untuk dilakukan tahapan penerapan.

5. Tahap Konfirmasi

Tahapan ini digunakan dalam rangka meyakinkan akan penerimaan suatu informasi inovatif berupa ide, gagasan, teknik, proses, maupun produk inovatif yang telah disebarluaskan kepada penerima informasi. Adanya evaluasi dan perbaikan dari sebuah ide, gagasan, teknik, proses, maupun produk inovatif dapat tercipta.

14.6 Inovasi Kimia

Inovasi dalam bidang kimia dapat dilihat dari aspek *efisiensi* atau penghematan waktu dan proses pengolahan serta penghematan, biaya pengolahan dengan menggunakan penerapan teknologi kimia. *Recycle* atau pengolahan kembali dengan menerapkan teknologi kimia menjadi produk yang lebih tinggi nilai kemanfaatannya. Selain itu Inovasi kimia merupakan proses pemanfaatan kembali sumber daya alam yang masih belum termanfaatkan secara maksimal dengan menerapkan teknologi kimia atau *reusable*. Inovasi kimia dapat dilihat dari aspek adanya penerapan *Green Chemistry* yang menerapkan proses pengolahan suatu material menjadi produk yang mempunyai nilai manfaat lebih tinggi dari sebelumnya dengan menerapkan teknologi kimia yang ramah lingkungan. Inovasi kimia terbagi menjadi beberapa macam sesuai dengan cabang dari ilmu kimia, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Inovasi Kimia Organik
2. Inovasi Kimia Anorganik
3. Inovasi Kimia Analitik
4. Inovasi Kimia Fisik
5. Inovasi Biokimia
6. Inovasi Kimia Komputasi Berbasis *Artificial Intelligent*

14.6.1 Inovasi Kimia Organik

Sumber daya alam hayati di Indonesia sangat banyak, oleh karena itu dibutuhkan cabang ilmu kimia yang menerapkan proses pengolahan yang efisien, ekonomis, dan menghasilkan suatu produk dengan nilai jual yang lebih tinggi daripada sebelum diolah.

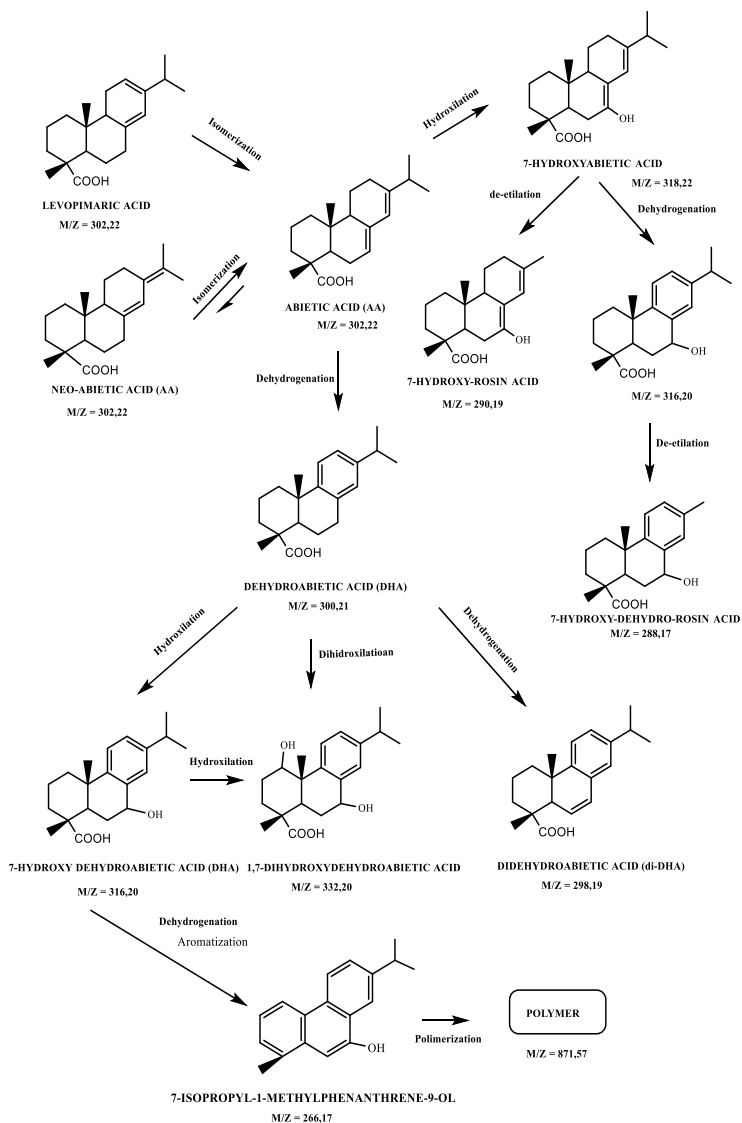
Tumbuhan pinus merkusii merupakan tumbuhan asli Indonesia yang menghasilkan getah pinus yang akan disaring dan diolah lebih lanjut menjadi gondorukem (Kuspradini *et al.*, 2016). Gondorukem atau rosin ini selanjutnya akan diolah lebih lanjut oleh Perusahaan Gondorukem dan Terpentin (PGT) Indonesia melalui proses pengolahan kimia pertama yaitu proses destilasi untuk menghasilkan produk utama berupa minyak terpentin dan produk hasil reaksi samping berupa gondorukem non-modifikasi (Afifah *et al.*, 2022). Gondorukem non-modifikasi ini akan diekspor ke luar negeri dan diolah lebih lanjut melalui tahapan proses pengolahan kimia di perusahaan pengolahan rosin di luar negeri. Negara Indonesia menjadi negara terkenal ketiga di dunia sebagai pengeksport gondorukem terbesar (Kugler *et al.*, 2019). Akan tetapi harga dari gondorukem non-modifikasi yang diekspor ke luar negeri ini murah karena belum diolah kembali menjadi produk kimia yang mempunyai nilai manfaat dan kualitas yang tergolong masih kurang karena sifatnya yang mudah teroksidasi karena berbagai faktor lingkungan seperti panas, kelembabapan, dan penyimpanan. Hasil produksi getah pinus di Indonesia jumlahnya mencapai 90.000 ton per tahun yang selanjutnya akan diolah secara destilasi sehingga menghasilkan senyawa produk utama berupa terpentin sebanyak 12.000 ton dan produk reaksi samping berupa getah gondorukem sebanyak 60.000 ton (Perhutani, 2006).

Oleh karena itu, Perusahaan PT. Perhutani Indonesia saat ini banyak melakukan terobosan penelitian dengan berkerjasama bersama Perguruan Tinggi Negeri (PTN) untuk melakukan penelitian kimia terkait bagaimana pengolahan lebih lanjut produk reaksi samping berupa gondorukem ini agar tidak hanya diekspor

ke luar negeri jumlah yang tinggi akan tetapi Perusahaan Gondorukem dan Terpentin (PGT) Indonesia ini mampu mengolah secara mandiri menjadi produk inovatif yang mempunyai harga jual dan manfaat lenih tinggi daripada sebelum diolah.

Salah satu proses inovatif dalam mengolah produk reaksi samping gondorukem ini adalah proses seleksi jenis katalis yang mudah didapatkan di Indonesia, harga katalis murah, serta proses pengolahan kimia yang relatif mudah dan dapat diterapkan di Perusahaan Gondorukem dan Terpentin (PGT) Indonesia. Produk hasil reaksi samping berupa gondorukem ini banyak mengandung asam abietat (AA) yang apabila diolah dengan serangkaian proses kimia dapat dihasilkan produk dengan senyawa asam dehidroabietat (DHA) dengan nilai manfaat dan harga jual yang lebih tinggi daripada masih berupa gondorukem non-modifikasi (Brocas, Llevlot and Mantzaridis, 2014). Senyawa asam abietat (AA) dalam gondorukem non-modifikasi sekitar 80-90% dan senyawa terpenoid sekitar 10-20% (Li *et al*, 2019). Senyawa diterpenoid dengan kerangka asam abietat mempunyai aktivitas biologis tinggi sebagai antimikroba, anti-virus, anti-malaria, anti-lemania, anti-oksidan, dan anti-tumor. Sedangkan senyawa asam dehidroabietat (DHA) yang diturunkan dari asam abietat (AA) ini mempunyai kualitas dan nilai manfaat yang lebih tinggi daripada asam abietat (AA) (Gonzales, 2014).

Pada tahun 2022, serangkaian proses inovatif dalam proses pengolahan gondorukem non-modifikasi ini telah dilakukan dengan menggunakan jenis katalis logam non-paladium yang mudah didapatkan di Indonesia serta murah dan efisien untuk diterapkan di Perusahaan Gondorukem dan Terpentin (PGT) Indonesia yaitu menggunakan katalis FeCl_2 , ZnCl_2 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (s), dan reagen Iodine (I_2)(aq) dan NaOH (aq) (Afifah *et al*, 2022).



Gambar 14.1. Hasil studi reaksi senyawa asam abietat (AA) dan produk hasil reaksi asam dehidroabietat (DHA) dengan katalis non-paladium yaitu FeCl_2 , ZnCl_2 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (s), dan reagen Iodine (I_2)(aq) dan NaOH (aq) (Sumber : (Afifah *et al.*, 2022))

Dari gambar 14.1 menjelaskan bahwa terdapat senyawa mayor dalam gondorukem non-modifikasi yaitu asam abietat (AA) yang dapat mengalami berbagai macam reaksi saat dilakukan suatu proses pengolahan kimia diantaranya yaitu proses isomerisasi, hidroksilasi, dehidrogenisasi, de-etilasi, dihidroksilasi, dan terakhir proses polimerisasi senyawa-senyawa derivat asam abietat (AA).

Senyawa katalis non-paladium yang dapat digunakan dalam proses pengolahan asam abietat (AA) melalui proses reaksi oksidasi yang mampu dimanfaatkan sebagai senyawa anti-bakteri *S. Aureus* dan *E.Coli* adalah kalium permanganat yang dikombinasikan dengan katalis logam Zink (Zn) dan besi (Fe) (Masruri, Amini and Rahman, 2016).



Gambar 14.2. Modifikasi kimia sebuah asam rosin dan aplikasinya (Sumber : (Llevot, 2015))

Berbagai jenis manfaat hasil produk modifikasi gondorukem diantaranya yaitu : Pertama, rosin yang terpolimerisasi digunakan untuk pernis, perekat (lem), dan tinta termoplastik. Kedua, rosin modifikasi digunakan untuk pernis, enamel, pernis, tinta cetak, resin alkid. Ketiga, rosin modifikasi maleat digunakan untuk pernis, tinta

cetak, resin alkid. Keempat, rosin tersaponifikasi untuk sabun, resinat, pengemulsi, polimerisasi, karet sintesis, dan paper sizing. Kelima, rosin aduksi digunakan untuk paper sizing, tinta printer, resin alkid. Keenam, rosin terdismutasi digunakan untuk perekat (lem untuk label dan pita), bahan anti-jamur. Ketujuh, rosin dapat digunakan secara langsung diantaranya yaitu untuk pengemulsi, scaling max (*lax*), isolasi, perekat, bahan water proofing, lilin obat penghilang rambut. Kedelapan, rosin terhidrogenasi banyak digunakan untuk cat tembok, pernis, perekat (lem), dan bahan permen karet. Kesembilan, rosin teresterifikasi banyak digunakan untuk bahan adhesive, tinta printer, cat dan pernis, bahan permen karet, dan marka jalan.

Dari hasil produk hasil reaksi modifikasi dengan variasi katalis non-mulia seperti FeCl_3 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, ZnCl_2 (1%) yang dipadukan dengan halogen Iodine (I_2) ini menghasilkan produk hasil reaksi berupa produk fine chemical yang banyak dimanfaatkan sebagai pernis, perekat (lem), tinta termoplastik, enamel, bahan pembuat tinta cetak, karet sintesis, pengemulsi, dan bahan marka jalan.

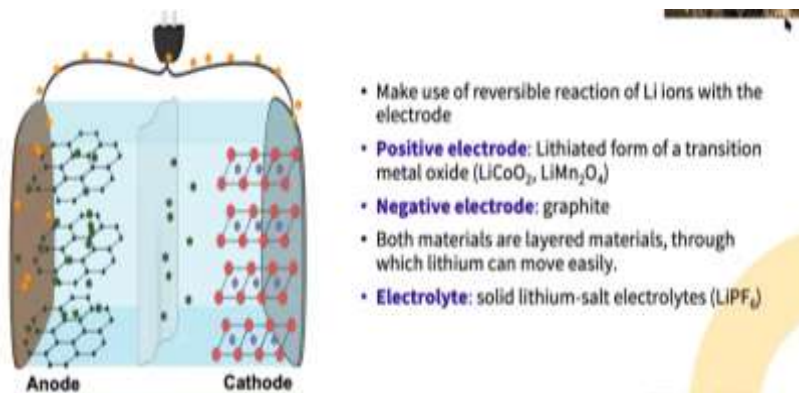
Asam rosin mempunyai sifat yang menarik untuk dikaji dari sisi sifat hidrofobisitas dan hidrofiliknya, sifat fisik dan kimiawinya. Kerangka trisiklik dengan ikatan double bond serta adanya gugus karboksilat yang memungkinkan senyawa asam rosin ini dapat digunakan dalam banyak aplikasi seperti untuk bahan pelapis atau vernish, tinta cetak, bahan tambahan makanan, perekat, dan untuk kebutuhan medis seperti salep, obat, dan lain sebagainya (Llevot, 2015).

14.6.2 Inovasi Kimia Anorganik

Sejak tahun 2018 yang lalu kendaraan listrik di Negara Indonesia mulai marak digerakkan oleh Pemerintah Indonesia. Kendaraan listrik menjadi terobosan pertama pemerintah dalam mengurangi jumlah populasi udara dan penceman suara yang kian

meningkat karena kendaraan bermotor. Dalam kendaraan listrik digunakan baterai ion *litium*. Baterai litium ini berbeda dengan baterai konvensional seperti nikel-cadmium, nikel-metalhidrat dikarenakan baterai litium ini mempunyai beberapa aspek kelebihan. Pada baterai litium memiliki densitas daya - energi yang besar, tidak ada memori *effect*, serta tahan lama. Hal tersebut memungkinkan alternatif pilhan yang digunakan dalam baterai kendaraan listrik yang sedang marak saat ini sehingga dapat mendukung program pemerintah terkait kendaraan listrik.

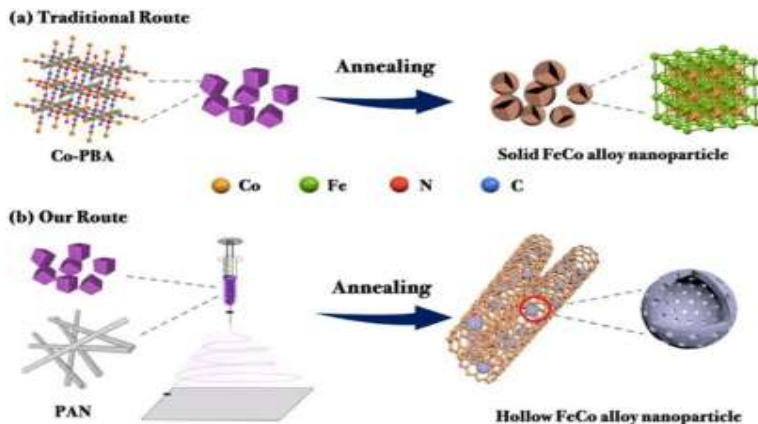
Akan tetapi ada beberapa permasalahan yang dihadapi saat menggunakan baterai litium ini diantaranya adalah : saat proses *discharger* suhu baterai ini mengalami pemanasan atau peningkatan suhu yang dapat mempengaruhi kinerja dari baterai litium. Selanjutnya saat kendaraan bermotor digunakan, kondisi daya dari baterai akan berubah-ubah karena pengaruh dari daya motor yang juga ikut berubah-ubah saat digunakan berkendara yang akan mempengaruhi kerja kendaraan bermotor dengan sumber energi listrik (Cahyono, Hardianto and Kaloko, 2020).



Gambar 14.3. Proses rekayasa senyawa nanomaterial dalam baterai ion litium (Sumber : (Permana, 2022))

Afriyanti Samboja adalah seorang ilmuwan nanoteknologi asal Indonesia yang aktif melakukan penelitian dalam dunia nanoteknologi yang diterapkan dalam sebuah baterai seperti litium. A. Samboja menjelaskan bahwa dalam dunia nanoteknologi itu berkaitan erat dengan proses dan teknik desain, produksi, karakterisasi, dan juga aplikasi senyawa ukuran nanomaterial. Material yang ukurannya kurang dari 100 nm yang mengalami perubahan sifat fisik dan kimiawi mampu menghasilkan manfaat untuk keperluan hidup sehari-hari diantaranya adalah baterai ion litium. Fungsi utama baterai selain untuk menyimpan energi saat dilakukan *charge* juga sebagai alat konversi energi kimia menjadi energi listrik yang mampu menggerakkan kendaraan listrik.

Inovasi yang diperbarui adalah peningkatan kapasitas penyimpanan daya dari baterai ion litium dan peningkatan beda potensial listrik yang dihasilkan oleh baterai ion litium dengan teknik perubahan anoda dan katoda untuk mencapai kondisi baterai yang diharapkan. Dalam katoda diberikan suatu material berukuran nanomaterial agar dapat menyimpan ion litium yang banyak sehingga mampu menyimpan daya listrik yang besar dan mempunyai beda potensial listrik yang tinggi. Sedangkan pada anoda dalam baterai dapat dibuat dengan material yang mampu menyimpan ion litium yang banyak akan tetapi dengan voltase yang sedikit. Sebagaimana pada gambar 14.6.3, Afriyanti Samboja bersama anggota penelitiannya mampu menerapkan material nanoteknologi dalam baterai berdaya besar dan voltase tinggi sehingga dapat mempersingkat proses *charging* baterai listrik dengan adanya rekayasa katoda dan anoda (Permana, 2022).



Gambar 14.3. Proses dan ilustrasi pembuatan material nanomaterial logam alloy h-FeCo/N-CF yang memungkinkan memiliki kinerja tinggi pada baterai Zn-Udara
(Sumber : (Ma *et al.*, 2020))

Afriyanti Samboja bersama rekan-rekannya kemudian mencoba mengembangkan teknologi baterai nanomaterial yang mampu memberikan kinerja yang tinggi pada suatu baterai Zn. Baterai Zn adalah baterai yang biasa kita gunakan dan ditemui bebas dalam sehari-hari seperti baterai ABC, Alkaline, dan lain sebagainya. Akan tetapi baterai-baterai Zn tersebut hanya bersifat sekali pakai, oleh karena itu pada penelitian Yuanyuan Ma dan Afriyanti S. di tahun 2020 juga mencoba mengembnagkan baterai Zn dengan meningkatkan laju kinetik dari katalis elektroda oksigen sehingga area permukaan baterai lebih baik karena mampu meningkatkan area luas permukaan baterai. Adanya integrasi antara senyawa logam berpori ukuran nano yang telah diaktifkan unsur karbon pada nanofiber mampu meningkatkan kualitas kinerja elektrokimia suatu baterai Zn (FASS ZABs). Adanya paduan logam alloy h-FeCo/N-CNFs memberikan peningkatan kualitas dari baterai Zn yang dapat diisi ulang atau *charging*. Adanya penataan struktur

material nanopartikel berongga atau hollow merupakan teknik untuk peningkatan aktivitas kinerja katalitik dengan meningkatkan situs aktif dan peningkatan permukaan yang lebih terbuka sehingga lebih stabil (Ma *et al.*, 2020).

14.6.3 Inovasi Kimia Analitik

Salah satu permasalahan lingkungan yang cukup kompleks serta menjadi perhatian publik karena tingkat bahayanya bagi kesehatan adalah cemaran logam berat. Diantara contoh logam berat yang berbahaya bagi kesehatan adalah Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Cadmium (Cd), Kromium (Cr), Besi (Fe), Nikel (Ni), Zink (Zn), Mangan (Mn) dan Tembaga (Cu). Logam-logam berat tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena tidak mudah teruraikan oleh alam serta apabila terserap oleh tanah dan air dalam jangka waktu yang cukup lama akan menjadi sumber pencemaran lingkungan ekosistem dan sumber daya alam yang tercemar.

Penelitian terkait dampak cemaran logam-logam berat terhadap kesehatan manusia terus dilakukan oleh para ahli di bidang kesehatan lingkungan, kimia lingkungan, dan kimia analisis cemaran logam. Tingkat toksisitas atau bahaya dari cemaran logam ini meningkat akibat dari aktivitas industri, antropogenik, serta industrialisasi modern. Udara dan air yang telah terkontaminasi oleh cemaran logam juga menjadi masalah yang cukup serius karena ratusan juta orang terkena dampak dari cemaran logam berat. Selain itu kontaminasi makanan oleh logam berat terhadap kesehatan manusia dan hewan juga cukup menjadi perhatian di bidang kesehatan (Ghorani-Azam A., Riahi-Zanjani B., 2016)(Mousavi S. R., Balali-Mood M., Riahi-Zanjani B., Yousefzadeh H., 2013).

Adanya paparan cemaran logam ini sulit dihindari karena udara dan air telah terkontaminasi akibat dari polutan udara dan air yang terjadi secara alami dan tetap berada di lingkungan. Ketika

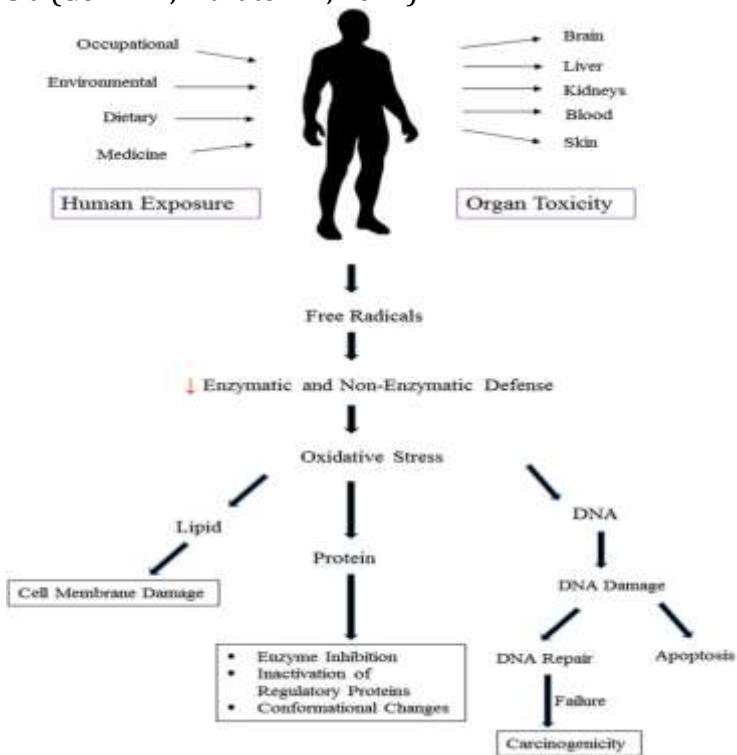
cemaran logam tersebut sering berinteraksi dengan tubuh manusia dan hewan maka cemaran logam ini akan kehilangan satu atau lebih elektron dan akan membentuk kation logam yang mempunyai afinitas terhadap situs nukleofilik suatu makromolekul. Apabila hal ini terjadi terus-menerus dapat mempengaruhi kinerja dari organ tubuh manusia dan hewan bahkan dapat merusak organ manusia dan hewan. Efek cemaran logam berat terhadap organ tubuh manusia dan hewan diantaranya adalah disfungsi atau gangguan pencernaan, ginjal, gangguan sistem saraf, lesi kulit, kerusakan pembuluh darah, disfungsi sistem kekebalan tubuh, cacat lahir serta kanker. Paparan terhadap dua atau lebih cemaran logam juga dapat menimbulkan efek simultan terhadap kesehatan makhluk hidup (Balali-Mood, Mahdi. naseri, Kobra. T, Zoya. Reza K, Mohammad. Sadeghi, 2021).

Paparan dari Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb) dengan dosis tinggi juga dapat menyebabkan sakit perut, diare berdarah dan gagal ginjal (R. A., 2012). Paparan dosis rendah terhadap tubuh manusia dan hewan juga merupakan masalah yang cukup serius namun tersembunyi karena paparan yang terus menerus terhadap tubuh hewan dan manusia karena dapat menyebabkan gangguan neuropsikiatri seperti kelelahan, kecemasan dan dampak negatif lain terhadap IQ (Intelligence Quotient) serta fungsi intelektual pada anak-anak (Mazumdar M., Bellinger D. C., Gregas M., Abanilla K., Bacic J., 2011).

Menurut Clancy dkk. pada tahun 2011 terkait mekanisme paparan ion logam berat terhadap respon dan sintesis DNA. Cemaran logam karsinogenik seperti Ar, Cd, dan Cr serta logam berat lain dengan dosis tinggi jika mengenai tubuh hewan dan manusia dapat menyebabkan kerusakan DNA dan gangguan neuropsikiatri (Clancy H. A., Sun H., Passantino L., Kluz T., Muñoz A., Zavadil J., 2012).

Proses ion logam berat dalam merusak dan mengganggu kinerja DNA dalam tubuh hewan dan manusia melalui proses

pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS), inaktivasi enzim, dan penekanan pertahanan antioksidan. Akan tetapi ada diantara sebagian ion logam karsinogenik yang berikatan secara selektif dengan makromolekul tertentu yang didalam tubuh hewan dan manusia untuk mempengaruhi kinerja dari fungsi organ tubuh, kelainan metabolisme, perubahan hormon, kelainan bawaan, disfungsi sistem kekebalan tubuh, dan kanker pada hewan dan manusia (Gorini F., Muratori F., 2014).



Gambar 14.4. Proses mekanisme toksik dari cemaran logam berat dalam tubuh manusia dan hewan serta efek bahaya cemaran logam dalam tubuh manusia dan hewan. (Sumber : (Balali-Mood, Mahdi. naseri, Kobra. T, Zoya. Reza K, Mohammad. Sadeghi, 2021))

Adanya cemaran logam berat pada makanan telah dianalisis Afifah, S.N. pada tahun 2014 terkait adanya cemaran logam Timbal (Pb) dalam 5 jenis sampel permen jenis *hardcandy*. Kadar timbal (Pb) dalam ke-5 jenis sampel permen jenis *hardcandy* yang diteliti ditampilkan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 14.1. Data hasil analisis cemaran logam timbal (Pb) pada 5 macam permen jenis *hardcandy*

No.	Permen	Kadar Timbal Pb Pada Ulangan Ke- (mg/kg)			Kadar Pb Rata-Rata (mg/kg)
		1	2	3	
1	A	25,95	26,12	26,82	26,36
2	B	24,56	26,19	26,55	25,77
3	C	25,45	25,44	25,07	25,32
4	D	26,97	26,98	26,60	26,85
5	E	26,60	26,71	26,70	26,67

(Sumber : (Afifah, S.N., Dewi, Candra D., Fasya, A. Ghanaim. Ningsih, 2014))

Penelitian analisis logam tersebut dilakukan dengan 3 kali pengulangan menggunakan metode destruksi basah variasi larutan pendestruksi secara spektrofotometri serapan atom (SSA). Larutan pendestruksi yang digunakan adalah 3 variasi antara larutan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 sehingga ditemukan variasi larutan pendestruksi terbaik adalah varian HNO_3 dan H_2SO_4 .

Hal tersebut menunjukkan bahwa dalam makanan yang sering kita konsumsi sehari-haripun juga dapat terkontaminasi oleh cemaran logam Pb karena faktor bahan dasar gula yang melalui proses pengolahan industri berbahan alat industri logam dengan suhu proses pengolahan yang cukup tinggi dan durasi yang lama (Dewi *et al.*, 2013).

Selain itu proses pengolahan permen jenis *hardcandy* juga melalui proses tahapan industri dengan menggunakan alat industri berbahan logam dengan suhu yang cukup tinggi juga. Hal itulah menyebabkan kemungkinan adanya ion-ion logam berat dapat terdistribusi dari alat-alat industri pabrik berbasis logam ke bahan dasar permen hingga menjadi produk permen (Afifah, S.N., Dewi, Candra D., Fasya, A. Ghanaim. Ningsih, 2014).

Pada tahun 2008, Saper dkk. melakukan penelitian terhadap 193 produk obat Ayurveda yaitu produk obat-obatan herbal terkenal di India. Hasil penelitian Saper dkk. menjelaskan bahwa satu per lima dari 193 produk obat herbal yang diteliti hampir 21% mengandung cemaran logam berat diantaranya yaitu logam Pb, Hg, dan As (Saper R. B., Phillips R. S., Sehgal A., Khouri N., Davis R. B., Paquin J., 2008).

Oleh karena itu dibutuhkan penelitian terkait metode untuk meminimalisir cemaran logam berat yang ada di sekitar lingkungan kita. Teknik kimia dalam meminimalisir dan menghilangkan cemaran logam berat dari lingkungan dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah pengendapan secara kimiawi, ekstraksi pelarut, koagulasi, kompaksi, pertukaran ion, pemisahan membran, dan adsorpsi yang tergantung sifat objek yang telah tercemar. Metode adsorpsi adalah metode yang dinilai efektif dan efisien dalam meminimalisir kadar cemaran logam berat yang terkandung dalam air. Metode adsorpsi ini mempunyai proses yang lebih sederhana, ramah lingkungan, tidak menghasilkan racun, serta mempunyai kinerja yang lebih efektif dan efisien daripada metode lain diatas. Dengan menggunakan karbon aktif, lempung, bentonit, resin penukar ion, dan silika sebagai adsorben yang efisien dan ekonomis. Jenis adsorben yang banyak digunakan adalah silika gel yang mempunyai gugus fungsi Si-OH dan Si-O-Si karena mampu mengadsorpsi ion logam berat. Kelemahan dari silika gel tersebut adalah kurangnya efektivitas dari atom oksigen sebagai silanol dan siloksan dalam mengadsorpsi ion logam. Ikatan yang dibentuk pada

permukaan silika antara oksigen dengan ion logam kurang kuat karena ukuran atom oksigen yang kecil dengan daya polaritas yang rendah. Sehingga dibutuhkan penelitian terkait modifikasi senyawa organik yang mengandung gugus fungsi aktif seperti -OH, -NH, COOH, dan -SH membentuk senyawa organosilika hidrida. Selain itu juga dilakukan modifikasi luas permukaan silika dengan menambahkan gugus fungsi organik sebagai agen senyawa pengompleks terhadap logam berat dengan zat pengemban baik secara langsung maupun tidak langsung. Modifikasi jenis gugus fungsi organik dan luas permukaan aktif silika gel dapat meningkatkan efektivitas adsorpsi ion logam berat dengan penambahan gugus fungsi aktif lain seperti -SH. Gugus fungsi -SH ini adalah gugus fungsi yang ada pada senyawa organosilan yang dapat digunakan untuk memodifikasi silika gel. Proses modifikasi silika gel secara kimiawi dengan gugus -SH secara sol gel dengan jalur homogen mempunyai beberapa kelebihan diantaranya adalah dapat dilakukan dalam suhu rendah, homogen, dan dapat tercampur dengan baik pada sistem multi komponen (Naat *et al.*, 2021).

14.6.4 Inovasi Kimia Fisik

Menurut hasil penelitian medis oleh Silvio De Flora dkk. pada tahun 2021 bahwa COVID-19 dipengaruhi oleh meningkatnya produksi spesies oksigen reaktif (ROS) serta menurunnya aktivitas antioksidan dalam tubuh manusia (De FLora, S., Balansky, R., La Maestra, 2021). Oleh karena itu adanya antioksidan sangat bermanfaat karena dapat mengurangi tingkat keparahan COVID-19 serta meningkatkan hasil pengobatan manusia yang terkena COVID -19 itu sendiri. Manusia mengkonsumsi antioksidan yang berasal dari makanan ataupun suplemen kimiawi dapat juga mengurangi tingkat keparahan dari penyakit COVID-19 yang sedang diderita manusia. Penyakit COVID-19 yang disebabkan oleh agen patogen SARS-CoV-2 yang berasal dari Wuhan, Cina sejak Desember 2019

ini mulai menyebar ke seluruh dunia sehingga menyebabkan pandemi COVID-19.

Penyakit ini menular dengan cepat melalui udara setelah masa inkubasi 3 sampai 14 hari dengan gejala yang tidak nampak pada manusia yang sedang tertular agen patogen tersebut. Penyakit COVID-19 ini muncul dengan gangguan multisistem dan multiorgan yang dapat menunjukkan efek patogen di berbagai organ manusia yang telah tertular (Lammi, C. and Arnoldi, 2021). Antioksidan terbagi mejadi dua macam, diantaranya adalah Antioksidan endogen yang berasal dari dalam tubuh manusia itu sendiri dan antioksidan eksogen yang berasal dari luar tubuh manusia dan didapatkan dengan mengkonsumsi makanan atau suplemen nutrisi, seperti senyawa polifenol. Suatu makanan atau nutrisi yang mengandung senyawa polifenol yang tinggi dapat bermanfaat sebagai antioksidan yang bagus (Pisoschi, A.M.; Pop, 2015).

Senyawa antioksidan yang berasal dari makanan, minuman, dan rempah-rempah herbal harus dikontrol kualitasnya sehingga ketika senyawa tersebut masuk ke dalam manusia dapat berfungsi secara maksimal dalam menangkal radikal bebas yang terdapat dalam tubuh manusia itu sendiri. Hasil penelitian menjelaskan bahwa peradangan, osteoporosis, hepatopi, diabetes, kanker, dan penyakit degeneratif saraf banyak berkaitan dengan peningkatan stress oksidatif. Stress oksidatif merupakan kondisi biologis karena adanya peningkatan konsentrasi elektron yang tidak berpasangan (radikal bebas) dalam suatu sel dan jaringan tertentu. Faktor yang dapat meningkatkan stress oksidatif diantaranya adalah radiasi gamma, sinar UV dan sinar X, stress psikologis, makanan yang terkontaminasi, keadaan lingkungan yang tidak menguntungkan, aktivitas fisik yang berat, penggunaan tembakau, serta kecanduan alkohol. Senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenolik, senyawa yang mengandung sulfur, tanin, alkaloid, diterpen, dan vitamin yang terkandung dalam rempah-rempah herbal dapat bermanfaat sebagai sumber antioksidan. Senyawa flavonoid dapat menghilangkan

radikal radikal bebas dan berikatan dengan ion logam katalitik sehingga lebih reaktif. Contohnya tumbuhan sage, oregano, rosemary mempunyai kandungan senyawa fenolik dan antioksidan yang tinggi. Senyawa antioksidan jika ditambahkan ke dalam makanan dapat menghambat produk samping oksidasi yang berbahaya, menjaga kualitas nutrisi, serta memperpanjang lamanya proses penyimpanan produk makanan itu sendiri (Yashin, A.; Yashin, Y.; Xia, X.; Nemzer, 2017).

Antioksidan berkerja dengan cara mendonorkan elektron terhadap senyawa oksidan sehingga dapat menghambat aktivitas radikal bebas. Proses penghambatan aktivitas radikal oleh senyawa antioksidan dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok berbeda yaitu, Klasifikasi pertama atau primer adalah antioksidan mengalami pemutusan rantai untuk menghambat pembentukan radikal bebas dengan menyumbangkan hidrogen dari gugus hidroksil aktif. Yang kedua, Klasifikasi berdasarkan penonaktifan radikal bebas dengan mentransfer elektron tunggal untuk membentuk zat yang lebih stabil yang dilakukan oleh antioksidan itu sendiri (Nimse, S.; Pal, 2015).

Metode dalam mendeteksi adanya antioksidan dapat menggunakan metode spektrofotometri, kolorimetri, kromatografi, spektroskopi, dan metode elektrokimia. Metode kromatografi membutuhkan biaya yang cenderung lebih mahal karena mahalnya alat yang diperlukan. Meskipun metode ini dapat membedakan konstituen antioksidan yang berbeda-beda dalam suatu sampel makanan, metode ini hanya memberi data hasil uji berupa data konsentrasi saja. Metode spektroskopi mempunyai kelemahan diantaranya adalah teknik ini bergantung pada karakteristik spektra dari sumber bahan referensi karena prinsip penentunya yang menyebabkan adanya kesalahan yang sulit dihindari seperti menentukan warna sampel yang sesungguhnya, seperti jus jeruk, dan lain-lain. Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan metode

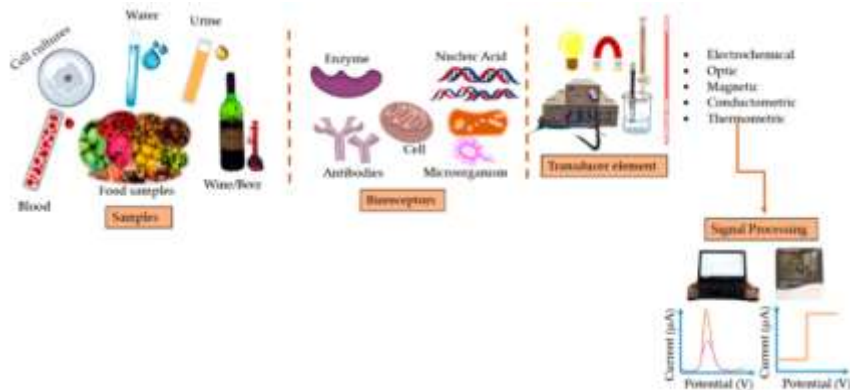
analisis yang sederhana, sensitivitas tinggi, dan cepat seperti metode elektrokimia.

Pendekatan metode elektrokimia memberikan berbagai kelebihan diantaranya adalah waktu deteksi yang cepat, kebutuhan volume sampel minimal, presisi yang luar biasa, dan sensitivitas yang cukup tinggi (Barroso, M.F.; Ramalhosa, M.J.; Alves, R.C.; Dias, A.; Soares, C.M.D.; Oliva-Teles, M.T.; Delerue-Matos, 2016). Tidak adanya proses pra-uji sampel saat uji elektrokimia maka peneliti dapat meminimalisir kebutuhan volume sampel, memaksimalkan presisi, meningkatkan sensitivitas, serta gangguan dari sampel berwarna dapat diminimalisir. Metode yang digunakan dalam mengamati kapasitas antioksidan yaitu pendekatan elektrokimia karena keakuratan, keterjangkauan, kesederhanaan, respon yang cepat, dan sensitivitas yang tinggi.

Sensor elektrokimia akan mengubah sinyal yang diperoleh dari interaksi sampel dengan komponen pengidentifikasi sehingga diperoleh hasil uji kuantitatif dan kualitatif. Sinyal sensor yang diperoleh akan diubah menjadi sinyal analitik. Sinyal yang diperoleh dapat mengubah tegangan, konduktansi, dan arus. sensor elektrokimia untuk penentuan antioksidan menggunakan berbagai elektroda, reseptor, dan transduser. Nanomaterial dapat diaplikasikan dalam meningkatkan kinerja sensor, sensitivitas, stabilitas, dan selektivitas. Senyawa antioksidan mempunyai sifat redoks sehingga dapat dideteksi secara langsung dengan elektrokimia (Zheng, Y.; Karimi-maleh, H.; Fu, 2022).

Adanya integrasi nanomaterial dengan sensor elektrokimia dapat meningkatkan kinerja elektrokimia sensor. Penentuan potensial redoks antioksidan dengan metode sensor elektrokimia dalam pelaporannya harus disertakan elektroda acuan yang digunakan karena hasilnya tidak dapat dikuantisasi secara absolut. oleh karena itu, perlu mempertimbangkan reaksi redoks yang terjadi pada beberapa jenis pelarut yang berbeda untuk mengukur dampak pelarut pada pengukuran antioksidan karena pengukuran

antioksidan dengan metode lain kurang mempertimbangkan pengaruh pelarut, elektrolit, zat antara radikal, konsentrasi reaktan, dan pH. Pengukuran antioksidan metode sensor elektrokimia dapat memperkirakan hal ini dengan baik (Haque, M.A.; Morozova, K.; Ferrentino, G.; Scampicchio, 2021).



Gambar 14.5. Skema Biosensor secara umum
(Sumber : (Sukma *et al.*, 2023))

Biosensor menjadi teknik alternatif yang perlu dikembangkan dalam berbagai analisis. Karena teknik ini mampu menganalisis secara efektif dan ekonomis dalam mendeteksi berbagai penyakit, racun, patogen, dan tingkat konstituen darah yang tinggi jika dibandingkan dengan metode analisis lainnya. Komponen bioreseptor dari biosensor akan berinteraksi dengan analit target untuk menentukan selektivitas sensor. Hal tersebut terjadi akibat dari elemen pengenalan biosensor memanfaatkan interaksi biologis secara spesifik dalam senyawa untuk meningkatkan afinitas pengikatan molekul yang diinginkan secara spesifik. Sedangkan transduser mengubah respon biologis yang dihasilkan dari interaksi analit target menjadi sinyal yang dapat diukur.

Variasi transduser yang digunakan secara substansial mempengaruhi sensitivitas dan selektivitas biosensor. Biosensor elektrokimia perlu dikembangkan dalam mengukur aktivitas antioksidan karena dapat mengukur sampel biologis, yang kemudian dapat dikonversi melalui proses biologis dan menghasilkan sinyal elektrokimia (Ye, Y.; Ji, J.; Sun, Z.; Shen, P.; Sun, 2020). Indikator biosensor mempunyai selektivitas tinggi. Prinsip kerja dari biosensor elektrokimia adalah ketika suatu analit sampel berada pada potensial yang berbeda, maka akan menyebabkan terjadinya oksidasi pada elektroda yang nantinya dapat diukur sinyal dari pergerakan elektron. Sinyal ini dapat diukur dengan detektor elektrokimia (Fu, Y.; You, Z.; Xiao, A.; Liu, L.; Zhou, 2020).

Beberapa penelitian terkait nanosensor elektrokimia untuk antioksidan endogen dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 14.2. Tabel penelitian terkait nanosensor elektrokimia untuk analisis endogen antioksidan (Sumber : (Sukma *et al.*, 2023))

METODE	ELEKTRODE	MEDIA	ANTIOKSIDAN	MATRIKS
DPV	MIM-PACO/GCE	0,25M ABS (pH 6,5)	Kurkumin	Ekstrak kunyit
DPV	SNO NR _s /GCE	0,1M PBS (pH 5.0)	Quercetin	Apel dan anggur
DPV	MMIP	0,1M PBS (pH 1.0)	Asam Rosemaniric	<i>Salvia officinalis</i> , <i>Zataria multiflora</i> , dsb.
DPV	EGDMA-MIP/IL-GR/GCE	0,04M BRBS (pH 2.0)	Rutin	Tablet ⁰
DPV	GCE/rGO/ZIF-8/MIP		Rutin	Tablet dan jeruk
DPV	MIP/AuNPs/EGP	0,1M PBS (pH 5.0)	TBHQ	Minyak yang mudah larut
DPV	MIP/CHIT+AuNPs/SPCE	PBS (pH 7.0)	BHA	Permen karet, mayones, dan keripik

METODE	ELEKTRODE	MEDIA	ANTIOKSIDAN	MATRIKS
				kentang
DPV	CuO/NFs/NH ₂ -CNTs/SPCE	0,05M PBS (pH 7.0)	TBHQ	Minyak kelapa, minyak wijen, dan minyak kedelai
DPV	VMSF/ErGO/GCE		TBHQ	Minyak nabati, lotion
AMP	Poly O-cresolphthalein/MWCNT electrode	0,1M PBS (pH 4.0)	BHA	Keripik kentang
AMP	Poly(carminic acid)/MWNT/GCE	BRBS (pH 2.0)	BHA TBHQ	Minyak biji rami
AMP	4-aminobenzoic acid/Toray carbon fiber electrode	0,1M PBS (pH 7.0)	Bilirubin	Serum
AMP	AuNPs/RGO/SPCE	100 mM PBS (pH 3.5)	Vitamin C	Komersial, dipasteurisasi, dan susu sapi skim
AMP	Mesoporous CuCo ₂ O ₄ /GCE	0,15M NaOH	Vitamin C	Tablet vitamin C
CV	H-BDDP-printed electrode	1/15M PBS (pH 7.0)	L-Cysteine	Tablet effervescent
CV	GOcunP/CPE	1.0M KCl (pH 7.0)	N-Acetylcysteine	Plasma sapi

Teknologi sensor dapat mencakup hasil analisis yang efektif, sensitif, dan signifikan untuk dapat dikembangkan dengan aplikasi terintegrasi agar dapat dikembangkan lebih lanjut dalam dunia penelitian sains khususnya kimia.

14.6.5 Inovasi Biokimia

Jumlah sampah yang diproduksi oleh Negara Indonesia sekitar 67,8 ton pada tahun 2020. Menurut Kementerian Lingkungan

Hidup dan Kehutanan (KLKH) bahwa hampir 38% sampah tersebut berasal dari limbah rumah tangga, sampah yang berasal dari pasar tradisional sekitar 17%, sampah lain sekitar 15%, dan sampah limbah plastik sekitar 17%. Seiring dengan meningkatnya jumlah produksi sampah di Indonesia, sampah ini menjadi masalah serius bagi sebagian masyarakat Indonesia. Sampah merupakan sisa aktivitas harian manusia berupa produk padat. Tumpukan sampah yang selalu bertambah akan tetapi tidak berkurang karena mengalami penumpukan akibat tidak terolah kembali dan tidak terproses lebih lanjut dapat mengganggu aktivitas masyarakat. Tumpukan sampah yang tidak terkendali akan mengurangi lahan produktif, mengurangi keindahan lingkungan, serta menjadi sumber pencemaran lingkungan baik air maupun udara. Selain itu jika sampah yang tertimbun ini tidak mengalami proses penanganan lebih lanjut maka dapat menyebabkan sumber penyakit bagi manusia dan hewan (Hakim *et al.*, 2022).

Seiring berkembangnya teknologi dan pengetahuan, masyarakat mulai menyadari arti pentingnya mengelola limbah sampah baik limbah yang dapat didaur ulang maupun limbah sampah yang tidak dapat didaur ulang. *Eco-Enzyme* merupakan salah satu metode dalam mengelola sampah menjadi produk yang lebih bermanfaat. Dr. Rasukon Poompanvong adalah seorang penemu pertama pengolahan sampah rumah tangga berbasis *Eco-Enzyme*, beliau juga merupakan pendiri Asosiasi Pertanian Organik Thailand. Sumber inspirasi Dr. Rasukon Poompanvong adalah terkait bagaimana mengolah enzim yang berasal dari limbah organik menjadi suatu produk yang dapat dimanfaatkan kembali dalam kehidupan sehari-hari. Limbah padat organik dapat berupa kulit buah dan sayur yang pada akhirnya akan membusuk dan menghasilkan gas karbondioksida dan gas metana. Pada umumnya manusia membuangnya ke sampah untuk dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang akhirnya juga akan mencemari lingkungan sekitar serta berbahaya bagi ekosistem dan organisme

hidup di sekitar TPA itu. Gas metana berbahaya bagi bumi yang berasal dari pembusukan limbah organik dapat berkurang dengan adanya pengolahan limbah organik menjadi *Eco-Enzyme*. *Eco-enzyme* ini memiliki beberapa manfaat diantaranya adalah desinfektan, obat kumur, menyembuhkan penyakit, pembersih lantai, pestisida, pupuk organik alami, pemurnian air tanah yang tercemar, herbisida, insektisida, dan lain-lain (Sujarwo, Trisanti, 2014).

Proses pengolahan limbah organik ini melalui proses fermentasi dengan durasi proses fermentasi selama 3 bulan menggunakan komposisi bahan organik, gula, dan air dengan perbandingan tertentu. Perbandingan dari komponen limbah organik, gula, dan air sebanyak 3 : 1 : 10. Produk *Eco-Enzyme* ini mengandung enzim, senyawa asam organik, konsorsium mikroba, serta senyawa metabolit sekunder seperti saponin asam organik, alkaloid, kuinon, steroid dan flavonoid. Mikroba yang dikeluarkan saat proses fermentasi diantaranya adalah enzim amilase, katalase, protease, pektinase, glukosase, isomerase, selulase, hemiselulase, lipase, dan laktase (Vama, L. dan Cherekar, 2020).

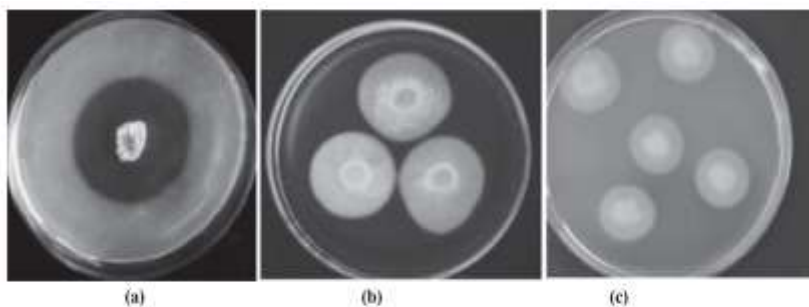
Pada tahun 2021, Imam A. H., dkk. melakukan penelitian terkait *Eco-Enzyme* dengan menggunakan kulit buah semangka, jeruk, melon, jambu biji, apel, dan nangka dan variasi jenis gula dan lama proses fermentasi. Gula adalah bahan utama pembuatan *Eco-Enzyme* karena mengandung atom karbon yang berasal dari sukrosa, fruktosa, dan glukosa. Jenis dan variasi perbandingan gula juga mempengaruhi mikroba penghasil enzim ekstraseluler seperti amilase, lipase, dan selulase. Dan *molase* merupakan limbah utama dari proses pengolahan tebu menjadi gula. Lamanya proses penyimpanan atau fermentasi juga mempengaruhi jumlah dan jenis mikroba yang dihasilkan. Mikroba akan menghasilkan jenis enzim dan metabolit sekunder tertentu selama proses fermentasi. Jumlah dan kondisi asam asetat dan asam laktat selama peorses penyimpanan juga mempengaruhi aktivitas dari enzim yang

dihasilkan. Beberapa jenis mikroba tertentu menyukai jenis gula seperti fruktosa dan glukosa sebagai bahan utama fermentasi yang nantinya akan mempengaruhi jumlah asam asetat dan asam laktat dalam proses metabolisme mikroba.

Pada gula molase, nilai aktivitas enzim lipase cenderung meningkat jika dibandingkan dengan jenis gula putih dan gula aren, begitupula dengan pada total asam yang mengalami peningkatan. Pada gula kelapa merah atau gula aren aktivitas enzim lipase dan total asam mengalami penurunan. Sedangkan pada gula pasir mengalami aktivitas enzim lipase yang menurun sedangkan total asam cenderung stabil. Adanya penurunan aktivitas enzim yang bertolak belakang dengan peningkatan prosentase total asam yang dititrasi pada produk *Eco-Enzyme*. Pengaruh waktu penyimpanan di bulan ke-1, ke-2 dan ke-3 pada gula pasir putih menghasilkan total keasaman sekitar 14,67%; 13%; dan 13,67%. Pada gula aren merah yaitu 6%; 5,67%; dan 4,67%. Sedangkan pada molase menghasilkan jumlah keasaman sekitar 14,33%; 13,67%; dan 17%. Pada bulan ke-1 dan ke-2 berdasarkan hasil Uji statistik HSD Tukey menunjukkan bahwa jumlah total asam dititrasi pada gula aren berbeda secara signifikan dengan gula pasir putih dan gula molase. Sementara gula putih tidak berbeda secara nyata dengan gula molase. Akan tetapi pada bulan ketiga semua jenis gula berbeda secara signifikan. Adanya penurunan aktivitas enzim yang diikuti dengan peningkatan asam total menjelaskan bahwa adanya proses denaturasi protein karena pengaruh dari peningkatan asam. Denaturasi ini mengakibatkan adanya perubahan konfigurasi molekul protein tanpa adanya kerusakan pada ikatan peptida (Hanifah *et al.*, 2022).

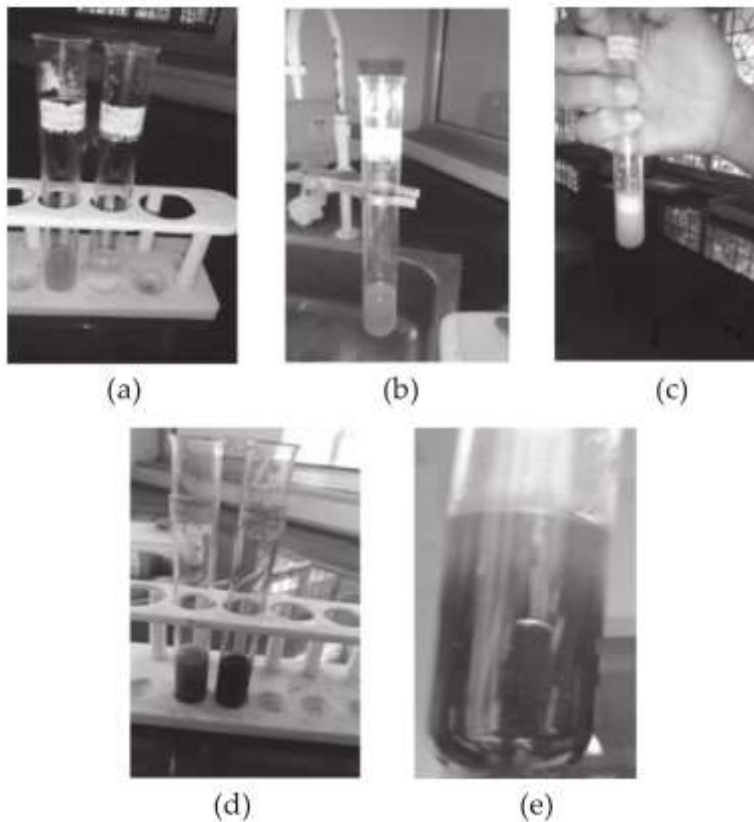
Pada tahun 2020 Lapsia Vama dan Makarand N. C. Dari India melakukan penelitian terkait uji aktivitas enzim, uji aktivitas metabolit sekunder, dan uji aktivitas anti-mikroba dari produk *Eco-Enzyme* yang dihasilkan dengan perbandingan komponen limbah kulit jeruk : gula merah : air sebesar 3 : 1 : 10. Yang diinkubasi

selama 3 bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk *Eco-Enzyme* ini mengandung enzim amilase, protease, dan lipase. Selain itu produk ini juga menghasilkan senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, kuinon, dan saponin yang dibuktikan dengan adanya spektrum Infra-Red (IR) pada gugus $-OH$ dan $-COOH$. Dengan adanya kandungan enzim dan metabolit sekunder tersebut dilakukan uji anti-mikroba pada bakteri produk *Eco-Enzyme* yang dihasilkan tersebut dapat diterapkan sebagai produk multifungsi sebagai pembersih lantai, peralatan, berkebun (Vama and Cherekar, 2022),



Gambar 14.6. uji enzim (a) Aktivitas protease, (b) Aktivitas Amilase, (c) Aktivitas Lipase (Sumber : (Vama and Cherekar, 2022))

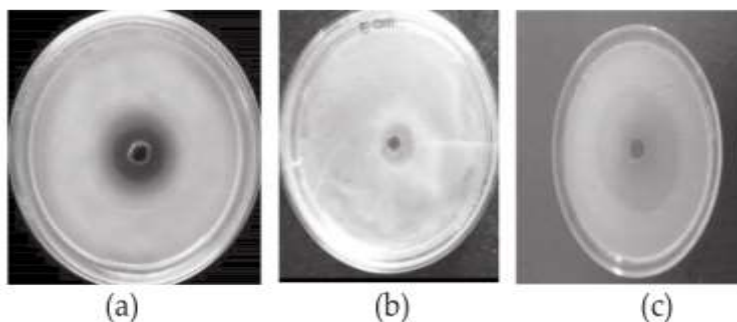
Pada gambar 14.6 diatas ditemukan adanya zona bening di sekitar koloni menjelaskan adanya produksi alkali protease pada gambar (a), sedangkan untuk zona hidrolisis dan putih cerah menunjukkan adanya enzim amilase dan lipase pada gambar (b) dan (c) (Vama and Cherekar, 2022).



Gambar 14.7. Uji metabolit sekunder : (a) Flavonoid, (b) Kuinon, (c) Saponin, (d) Alkaloid, (e) Glikosida Jantung
(Sumber : (Vama and Cherekar, 2022))

Pada gambar 14.7 diatas dapat diketahui bahwa adanya flavonoid pada gambar (a) dibuktikan dengan adanya perubahan warna kuning pekat menjadi tidak berwarna setelah penambahan HCl encer, pada gambar (b) pembentukan endapan kuning yang menunjukkan adanya kuinon. Pada gambar (c) saat dilakukan proses stirrer yang kuat ditemukan busa yang membuktikan

adanya saponin. Pada gambar (d) endapan berwarna coklat kemerahan menunjukkan adanya senyawa alkaloid. Sedangkan pada gambar (e) terdapat cincin coklat menunjukkan adanya karakteristik gula deoksi dari kardenolida. Adanya senyawa-senyawa metabolit sekunder tersebut diperkuat dengan adanya gugus fungsi $-OH$ dan $-COOH$ pada pita serapan IR $3303,83\text{ cm}^{-1}$ dan $1637,45\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 14.8. Uji aktivitas anti-mikroba terhadap (a) *Pseudomonas spp.*, (b) *E.Coli*, (c) *Bacillus spp.*
(Sumber : (Vama and Cherekar, 2022))

Pada gambar 14.8 diatas menunjukkan bahwa zona hambat tertinggi ditunjukkan terhadap (c) *Bacillus spp* sebesar 18 mm, dilanjutkan dengan (a) *Pseudomonas spp.* dan (b) *E.Coli* dengan zona hambat sebesar 11 mm dan 5 mm.

Perbandingan produk *Eco-Enzyme* dengan produk industri pada tabel 14.3 berikut :

Tabel 14.3. Tabel Perbandingan Produk *Eco-Enzyme* Ramah Lingkungan dengan Produk Industri

NO.	HAL	PRODUK ECO-ENZYME RAMAH LINGKUNGAN	PRODUK KIMIA INDUSTRI
1	Proses produksi	Dari bahan alami	Dari bahan kimiawi industri
2	Sifat	Bersifat asam dan basa	Sebagian besar bersifat asam
3	Respon terhadap lingkungan	Ramah lingkungan	Kurang ramah lingkungan
4	Biaya	Lebih murah	Lebih mahal
5	Proses degradasi	Dapat terdegradasi dengan lebih mudah	Membutuhkan banyak waktu untuk dapat terdegradasi
6	Sifat biologis tanah	Selalu mengaktifkannya	Sebagian besar membutuhkan waktu lama untuk menonaktifkan biologis tanah
7	Gas	Tidak menghasilkan gas yang berbahaya	Menghasilkan gas berbahaya
8	Efek toksik	Tidak ada efek toksik pada tubuh manusia	Gas maupun komponen kimia lainnya dapat berbahaya bagi tubuh manusia

(Sumber : (Vama and Cherekar, 2022))

Pada tahun 2021 dilakukan penelitian terkait produksi *Eco-Enzyme* yang ramah lingkungan dari limbah buah dan sayur dan pengaruh penerapannya terhadap Lumpur Akuakultur oleh Olgalizia Galintin dkk. Berbagai limbah kulit buah nanas, jeruk, tomat, dan mangga beserta gula merah dan air yang sesuai perbandingan komponen komposisi itu menghasilkan produk

fermentasi *Eco-Enzyme* yang dilakukan berbagai karakterisasi biologi dan kimiawi. Meningkatnya industri akuakultur di Malaysia juga menyebabkan adanya peningkatan masalah pencemaran lingkungan yang cukup tinggi. Hal ini dikarenakan lumpur seperti bubur atau akualutur ini mengandung senyawa nitrogen tinggi seperti amonia, nitrat, nitrit, fosfor, dan senyawa organik karbon terlarut yang menyebabkan degradasi lingkungan. Cara ekonomis untuk menanggulangi ini dengan membuang lumpur akuakultur ke kolam sedimenbtasi selama 3 hari sebelum dibuang ke sungai secara bebas. Akan tetapi metode ini kurang efektif dalam mengurangi konsentrasi nutrisi yang terlarut didalamnya dan hanya mengurangi partikulat tersuspensi (Galintin, Rasit and Hamzah, 2021).

Dengan aplikasi enzim *Eco-Enzyme* yang ramah lingkungan dalam mengolah lumpur akuakultur dapat membantu menanggulangi masalah lingkungan ini. Karena lebih murah dan aman daripada menggunakan bahan aditif kimiawi. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa produk *Eco-Enzyme* yang ramah lingkungan ini mengandung enzim lipase, protease, amilase. Sedangkan kandungan total padatan (Total Solid / TS), Total padatan terlarut (Total Dissolve Solid / TDS), Total COD (Chemical Oxygen Demand / COD), dan Total BOD (Biochemical Oxygen Demand/ BOD) yang cukup tinggi namun ramah lingkungan yaitu sekitar 17,74 mg/l; 15,9 mg/l; 133760 mg/l; dan 87,53 mg/l. Proses penerapan *Eco-Enzyme* yang ramah lngkungan ini terhadap proses pre-tretament lumpur akuakultur selama 10 hari dapat secara efektif dan efisien dalam mengurangi Total Suspensi Solid (TSS), Volatile Suspensi Solid (VSS), Total Phosphate (TP), Total Amonia Nitrogen (TAN), dan menstabilkan nilai COD (Chemical Oxygen Demand). Konsentrasi penerapan yang efektif dan efisien dari produk *Eco-Enzyme* ini adalah 10% dari pengenceran yang mampu menyisihkan TSS sebesar 89%, VSS sebesar 78%, penurunan COD sebesar 88%, penyisihan TAN sebesar 94%, dan penyisihan TP

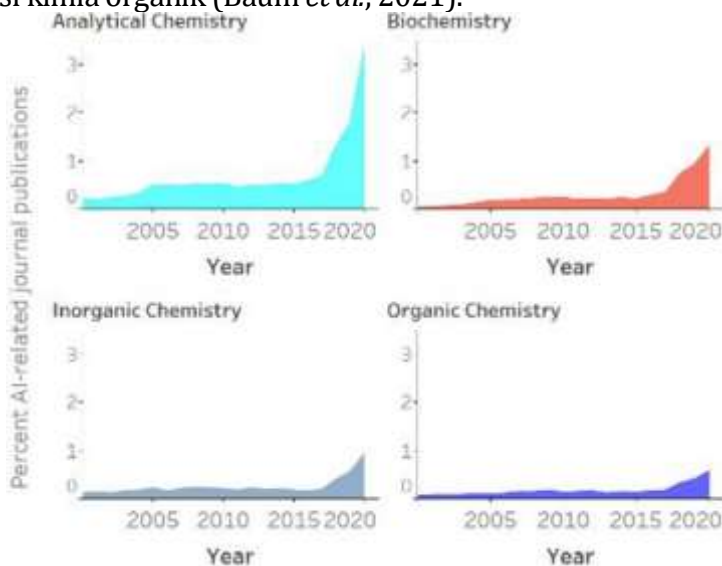
sebesar 97%. Inovasi kimia *Eco-Enzyme* yang ramah lingkungan ini mampu mengatasi masalah pencemaran sampah padat organik dan pencemaran air akuakultur yang ada di Municipal Solid Waste di Malaysia (Galintin, Rasit and Hamzah, 2021). Hal tersebut dapat memotivasi peneliti di Indonesia untuk dapat diterapkan di Negara Indonesia dalam mengurangi masalah pencemaran lingkungan akibat sampah limbah padat organik yang kian menumpuk di setiap harinya (Galintin, Rasit and Hamzah, 2021).

14.6.6 Inovasi Kimia Komputasi Berbasis Artificial Intelligent (AI)

Pada 2 tahun terakhir ini, yaitu tahun 2020 sampai dengan tahun 2023 ini, di media sosial maupun dunia akademik marak dengan istilah kecerdasan buatan berbasis robotik atau dikenal dengan singkatan AI (Artificial Intelligent) (Dutta, 2021). AI ini berkerja dengan bantuan program komputer bahkan handphone yang berkerja merespon input yang masuk kemudian berkerja sesuai dengan instruksi dan tujuan yang bermacam-macam. Permasalahan yang dimasukkan berupa data lalu diberikan solusi data baru. Saat ini AI sudah dapat diterapkan dalam dunia akademik dan penelitian kimia (Sharma, 2021). Contohnya kelarutan suatu senyawa baru dapat diprediksi dengan bantuan rumus-rumus stoikiometri yang telah diprogram untuk menghitung massa senyawa baru berdasarkan teori kalkulasi stoikiometri kimia. Di masa sekarang kemampuan komputer sangat meningkat pesat dalam mendukung semua aspek kehidupan untuk membantu pekerjaan manusia lalu mesin pencari referensi serta pengolahan data kimia membantu para saintis kimiawan dalam menyelesaikan bagian dari penelitiannya (Tkatchenko, 2020).

Menurut Zachary J. Baum, dkk. pada tahun 2021 sejak adanya perkembangan kecerdasan buatan (artificial intelligence) termasuk ilmu kimia juga mempengaruhi jumlah publikasi artikel ilmiah kimia yang menerapkan aspek artificial intelligence.

Sebagaimana dalam grafik 14.9 di bawah ini terlihat perbedaan secara signifikan antara jumlah publikasi ilmiah cabang ilmu kimia yang menerapkan aspek AI sejak tahun 2019 hingga 2020. Cabang ilmu kimia analitik mempunyai peringkat teratas dalam publikasi dengan penerapan teknologi AI, diikuti dengan publikasi ilmiah biokimia, publikasi ilmiah kimia anorganik, dan terakhir adalah publikasi kimia organik (Baum *et al.*, 2021).



Gambar 14.9. Perkembangan penelitian dan publikasi kimia yang menerapkan kecerdasan berbasis AI
(Sumber : (Baum *et al.*, 2021))

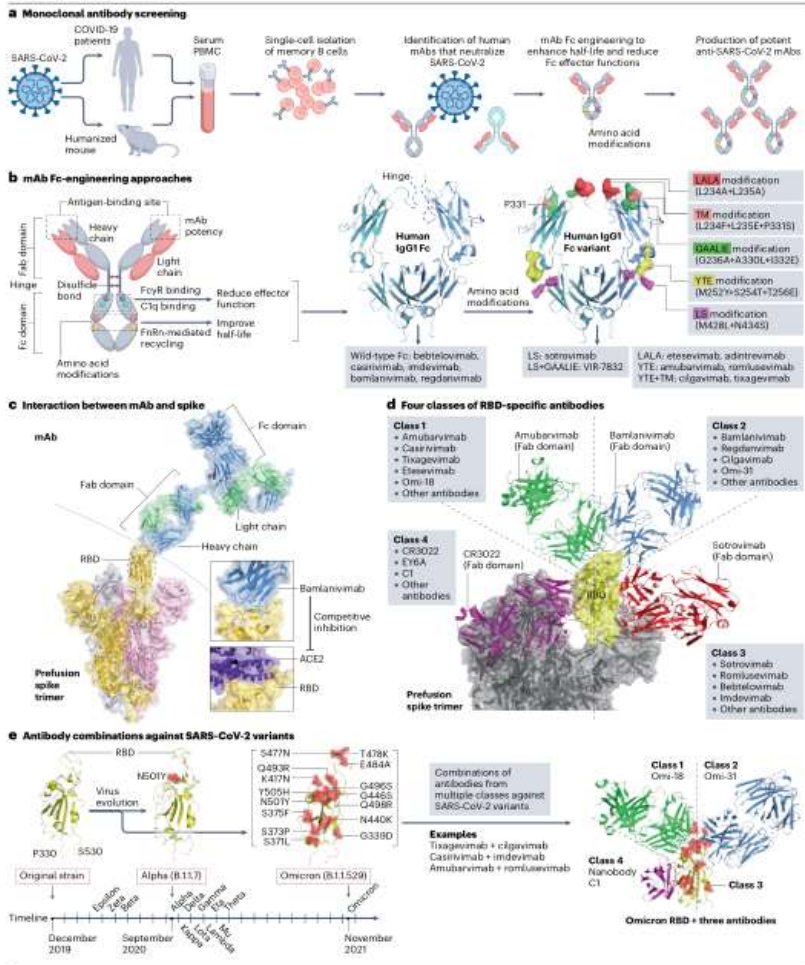
Pengaruh publikasi ilmiah pada ilmu kimia dengan menerapkan AI juga mempengaruhi adanya publikasi paten kimia yang menerapkan kecerdasan buatan untuk diaplikasikan dalam cabang ilmu kimia. Adanya penerapan AI atau kecerdasan buatan dalam suatu artikel ilmiah kimia dapat meningkatkan nilai kualitas suatu publikasi ilmiah kimia, karena menunjukkan penulis atau peneliti kimia mampu beradaptasi dan berinovasi dengan

menerapkan AI pada topik penelitian kimianya serta didukung dengan data-data hasil analisis pemrograman kimia komputasi. Selain itu, adanya kecerdasan buatan dalam publikasi ilmu kimia juga mampu mengefektifkan dan mengefisienkan waktu penelitian ilmuwan kimia. Ilmuwan kimia tanpa harus mencoba semua teknik tetapi cukup melakukan penelitian kimia yang mempunyai kemungkinan keberhasilan lebih tinggi yang didapatkan dari informasi data kimia yang telah menerapkan AI atau kecerdasan buatan. Hal itulah yang menjadi alasan mendasar para ilmuwan kimia saat ini dalam menerapkan kecerdasan buatan atau AI dalam publikasi dan penelitiannya (Baum *et al.*, 2021).

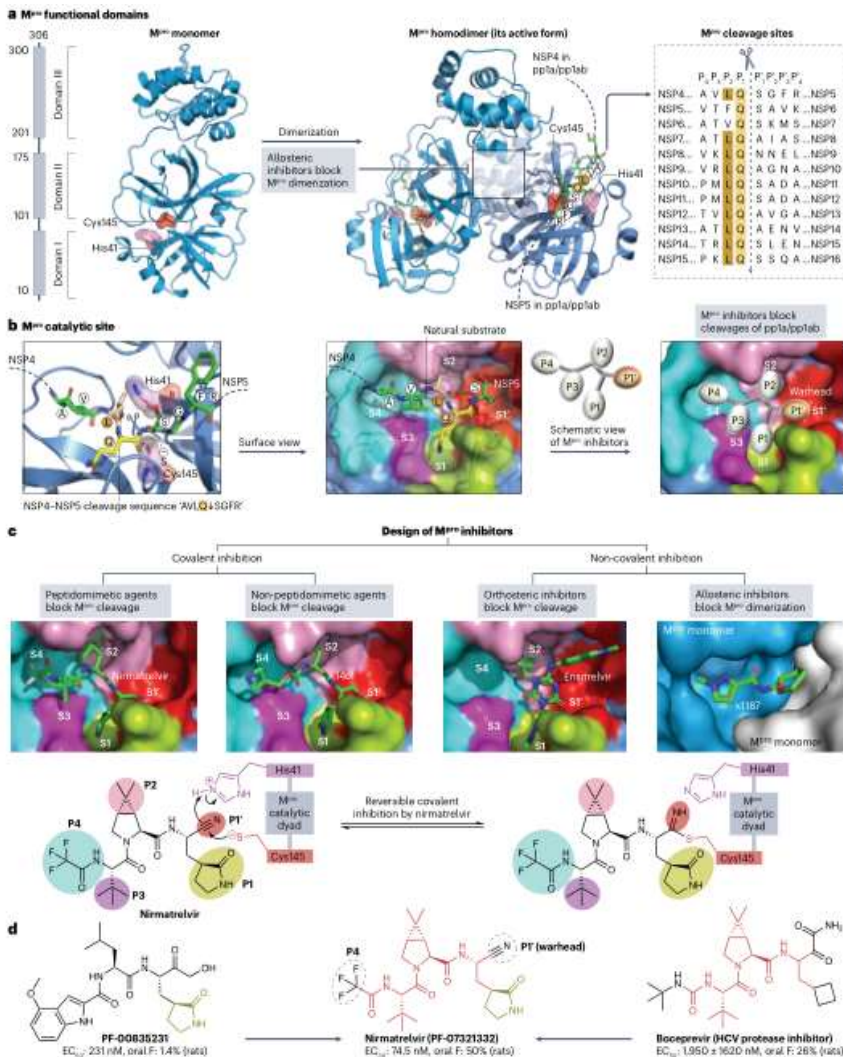
Dalam ilmu biokimia, farmakologi, dan toksikologi penelitian dan publikasi yang menerapkan teknologi kecerdasan buatan (AI) dalam hal bagaimana mendesain obat-obatan yang efektif dengan melakukan skrining prediksi senyawa kimia, analisis proses sequensi asam nukleat, dengan struktur protein. Sejak tahun 2019 pada tahun awal kemunculan penyakit COVID-19, banyak penelitian terkait penemuan obat, diagnosis penyakit serta pelacakan penyakit menerapkan kecerdasan buatan berbasis AI (Artificial Intelligence). Sedangkan dalam kimia material penelitian terkait hubungan struktur dengan sifat material dapat digerakkan dengan program komputer berbasis AI dan memungkinkan penemuan material-material baru sebagai bahan fungsional baru yang lebih bernilai tinggi dengan komputasi neuromorfik. Kelengkapan data analitik senyawa, perencanaan retrosintetik, memprediksi produk hasil reaksi, dan mengotomatiskan aliran kimia dapat dilakukan dengan program komputer berbasis AI yang diterapkan kimia analitik, kimia fisik, dan kimia sintetik (Li *et al.*, 2023).

Adanya peningkatan jumlah publikasi penelitian dan paten dalam penelitian kimia yang menerapkan teknologi berbasis kecerdasan buatan atau AI dalam bidang kimia membuktikan bahwa aplikasi AI dalam penelitian kimia mampu menambah

wawasan, peluang penulisan dan penelitian yang mungkin sebelumnya tidak terprediksi atau bahkan belum terprediksi. Dengan AI mampu membantu menyimpulkan kumpulan data-data yang besar dan banyak serta membantu mengotomatisasi tugas secara berulang. Sehingga penelitian kimia analitik pada set data penelitian yang cukup banyak, dalam penelitian biokimia pada data makromolekul yang banyak serta hubungan struktur dengan sifat biologis yang banyak menerapkan penggunaan laptop berbasis program kecerdasan AI sebagaimana diterapkan dalam proses penelitian pengembangan antibodi monoklonal dalam gambar 14.10 dibawah ini. Mulai dari proses screening anti-bodi monoklonal, fragmen yang dikristalisasi (Fc) dengan modifikasi asam amino, penentuan struktur antibodi monoklonal dalam sebuah lingkaran kompleks dengan prefusion spike trimer, dan dilanjutkan dengan penentuan 4 kelas antibodi berdasarkan interaksinya. Dan terakhir antibodi dari berbagai kelas dapat dikombinasikan untuk menghambat jenis varian virus SARS-CoV-2.



Gambar 14.10. Proses penggunaan program komputer berbasis kecerdasan buatan atau Artificial Intelligence (AI) dengan melakukan pengembangan sebuah antibodi monoklonal yang banyak berkembang saat ini
(Sumber : (Li *et al.*, 2023))



Gambar 14.11. Proses penggunaan program komputer berbasis kecerdasan buatan atau Artificial Intelligence (AI) dengan melakukan proses penentuan enzim protease SARS-CoV-2 serta proses binding dengan berbagai senyawa obat (Sumber : (Li *et al*, 2023))

Pada gambar diatas dapat diketahui bahwa penggunaan program komputer berbasis AI juga mampu melakukan proses binding antara enzim protease dengan berbagai calon senyawa kimia obat.

14.7 Kesimpulan

Inovasi merupakan perubahan ke arah pembaruan dalam hal ide, gagasan, prosedur, maupun hal-hal yang lebih spesifik dan disengaja melalui program yang terencana serta terstruktur untuk mencapai tujuan tertentu. Inovasi kimia merupakan pembaruan dalam bidang kimia yang mencakup ide, gagasan, metode, ataupun produk baru yang dirancang berlandaskan pada perkembangan sains kimia dengan tujuan tertentu. Inovasi dalam bidang kimia dapat memberikan manfaat yang lebih signifikan dalam proses industri sebuah produk yang lebih efisien, ekonomis, maupun ramah lingkungan serta penerapan sebuah solusi baru dari suatu permasalahan kimia yang berbeda. Inovasi kimia terbagi menjadi enam kelompok bagian diantaranya adalah inovasi bidang kimia organik, anorganik, analitik, kimia-fisik, biokimia, dan kimia komputasi berbasis artificial intelligence (AI).

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, S.N., Dewi, Candra D., Fasya, A. Ghanaim. Ningsih, R. 2014. 'ANALISIS KADAR TIMBAL (Pb) PADA PERMEN BERKEMASAN SECARA SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM (SSA) DENGAN VARIASI LARUTAN PENDESTRUKSI', *Alchemiy Journal of Chemistry*, 3(2).
- Afifah, S. N. *et al.* 2022. 'Directed Study of Abietic Acid Reaction in Pine Rosin under Non-Precious- Metal Catalyst', *Jurnal Kimia Valensi*, 8(May), pp. 92–105. doi: 10.15408/jkv.v8i1.22802.
- Balali-Mood, Mahdi. naseri, Kobra. T, Zoya. Reza K, Mohammad. Sadeghi, M. 2021. 'Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic', *J. Frotiers in Pharmacology*, 12(643972).
- Barroso, M.F.; Ramalhosa, M.J.; Alves, R.C.; Dias, A.; Soares, C.M.D.; Oliva-Teles, M.T.; Delerue-Matos, C. 2016. 'Total Antioxidant Capacity of Plant Infusions: Assessment Using Electrochemical DNA-Based Biosensor and Spectrophotometric Methods.', *Food Control*, 68, pp. 153–161.
- Baum, Z. J. *et al.* 2021. 'Artificial Intelligence in Chemistry: Current Trends and Future Directions', *Journal of Chemical Information and Modelling*, 61, pp. 3197–3212. doi: 10.1021/acs.jcim.1c00619.
- Brocas, A., Llevlot, A. and Mantzaridis, C. 2014. 'Epoxidized Rosin Acids As Co-Precursors For Epoxy Resins', *Design Monomers and Polymers*, 17(4), pp. 301–310. doi: 10.1080/15685551.2013.840504.
- Cahyono, T. P., Hardianto, T. and Kaloko, B. S. 2020. 'Pengujian Karakteristik Baterai Lithium-Ion Dengan Metode Fuzzy Dengan Beban Bervariasi', *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 6(3), p. 82. doi: 10.19184/jaei.v6i3.19708.

- Clancy H. A., Sun H., Passantino L., Kluz T., Muñoz A., Zavadil J., et al. 2012. 'Gene Expression Changes in Human Lung Cells Exposed to Arsenic, Chromium, Nickel or Vanadium Indicate the First Steps in Cancer.', *Metallomics*, 4(8), pp. 784–793.
- Dewi, D. C. *et al.* 2013. 'Optimasi Metode Penentuan Kadar Logam Tembaga Dan Timbal Dalam Gula Pasir Secara Spektrofotometri Serapan Atom Dengan Destruksi Microwave Digestion', *Alchemy*, 2(2). doi: 10.18860/al.v0i0.2884.
- Dimitrova, Y. P. 2018. 'Open Innovation : Characteristics, Features And Advantages', *Economics and Management*, 14, pp. 88–104.
- Dutta, S. 2021. *Data Modeling: A Fundamental Pillar of Your Future Ai Technology*, *CAS Blog*.
- De FLora, S., Balansky, R., La Maestra, S. 2021. 'Antioxidants and COVID-19', *JOPMH: JOurnal of Preventive Medicine and Hygiene*, 62(1), pp. E34–E35.
- Fu, Y.; You, Z.; Xiao, A.; Liu, L.; Zhou, W. 2020. 'Electrochemical evaluation of the antioxidant capacity of natural compounds on glassy carbon electrode modified with guanine-, polythionine-, and nitrogen-doped graphene', *Open Chem*, 18, pp. 1054–1063.
- Galintin, O., Rasit, N. and Hamzah, S. 2021. 'Production and Characterization of Eco Enzyme Produced from Fruit and Vegetable Wastes and its Influence on the Aquaculture Sludge', *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(3), pp. 10205–10214. doi: 10.33263/BRIAC113.1020510214.
- Ghorani-Azam A., Riahi-Zanjani B., B.-M. M. 2016. 'Effects of Air Pollution on Human Health and Practical Measures for Prevention in Iran.', *J. Res. Med. Sci.*

- Gonzales, M. A. 2014. 'Synthetic Derivatives of Aromatic Abietane Diterpenoids and Their Biological Activities', *European Journal of Medicinal Chemistry*, 87, pp. 834–842. doi: 10.1016/j.ejmech.2014.10.023.
- Gorini F., Muratori F., M. M. A. 2014. 'The Role of Heavy Metal Pollution in Neurobehavioral Disorders: A Focus on Autism.', *Rev. J. Autism Dev. Disord*, 1(4), pp. 354–372.
- Hakim, a H. *et al.* 2022. 'Sosialisasi Mengenai Eco-enzyme Dan Pembuatan Kerajinan Tangan Dari Botol Plastik Bekas', *JAPI (Jurnal Akses ...*, 7(April), pp. 23–30. Available at: <https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/japi/article/view/3203>.
- Hanifah, I. A. *et al.* 2022. 'The Effect of Variations in Sugar Types and Fermentation Time on Enzyme Activity and Total Titrated Acid on Eco-Enzyme Results of Fermentation', *Proceedings of the 7th International Conference on Biological Science (ICBS 2021)*, 22(July 2023). doi: 10.2991/absr.k.220406.084.
- Haque, M.A.; Morozova, K.; Ferrentino, G.; Scampicchio, M. 2021. 'Electrochemical Methods to Evaluate the Antioxidant Activity and Capacity of Foods: A Review', *Electroanalysis*, 33, pp. 1419–1435.
- De Jong, J & Kemp, R. 2003. 'Leadership as a Determinant of Innovative Behaviour', *International Journal of Innovation Management*, 2, pp. 189–212.
- Kugler, S. *et al.* 2019. 'Advances in Rosin-Based Chemicals: The Latest Recipes, Applications and Future Trends', *Molecules*, 24(9), pp. 1–51. doi: 10.3390/molecules24091651.
- Kuspradini, H. *et al.* 2016. *Pengenalan Jenis Getah : Gum Lateks Resin*.
- Lammi, C. and Arnoldi, A. 2021. 'Food-Derived Antioxidants and COVID-19', *Journal Food Biochem*, 45(1).
- Li, G. *et al.* 2023. 'Therapeutic Strategies for COVID-19: Progress and Lessons Learned', *Nature Reviews Drug Discovery*. Springer US, 22(6), pp. 449–475. doi: 10.1038/s41573-023-00672-y.

- Li, Y. *et al.* 2019. 'Thermal Stability of Abietic Acid and Its Oxidation Products', *Energy and Fuels*, 33(11), pp. 11200–11209. doi: 10.1021/acs.energyfuels.9b02855.
- Llevot, A. 2015. 'Resinic Acid and Lignin Derivative Dimers : New Precursors For the Synthesis of Biobased Polymers', *L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX*.
- Ma, Y. *et al.* 2020. 'Hollow Structure Engineering of FeCo Alloy Nanoparticles Electrospun in Nitrogen-Doped Carbon Enables High Performance Flexible All-Solid-State Zinc-Air Batteries', *Sustainable Energy and Fuels*, 4(4), pp. 1747–1753. doi: 10.1039/c9se01058k.
- Masruri, Amini, R. W. and Rahman, M. F. 2016. 'Potassium Permanganate-Catalyzed Alpha-Pinene Oxidation : Formation of Coordination Compound with Zinc (II) and Copper (II), and Growth Inhibition Activity on Staphylococcus aureus and Escherichia coli', *Indonesian Journal of Chemical Science*, 16(1), pp. 59–64.
- Mazumdar M., Bellinger D. C., Gregas M., Abanilla K., Bacic J., N. H. L. 2011. 'Low-Level Environmental Lead Exposure in Childhood and Adult Intellectual Function: A Follow-Up Study', *Environ. Health.*, 10(1).
- Mousavi S. R., Balali-Mood M., Riahi-Zanjani B., Yousefzadeh H., S. M. 2013. 'Concentrations of mercury, lead, chromium, cadmium, arsenic and aluminum in irrigation water wells and wastewaters used for agriculture in Mashhad, northeastern Iran', *Int. J. Occup. Environ. Med.*, 4(2 April), pp. 80–86.
- Naat, J. N. *et al.* 2021. 'ADSORPTION OF Cu (II) AND Pb (II) USING SILICA @ MERCAPTO (HS@M) HYBRID ADSORBENT SYNTHESIZED FROM SILICA OF TAKARI SAND : OPTIMIZATION OF PARAMETERS AND KINETICS', *RASAYAN J. Chem*, 14(1), pp. 550–560.

- Nimse, S.; Pal, D. 2015. 'Free Radicals, Natural Antioxidants, and Their Reaction Mechanisms.', *RSC Advances*, 5, pp. 27986–28006.
- Perhutani. 2006. 'Indonesian Gondorukem Outlook. Persentation to 2006 China Gondorukem Trade Conference'.
- Permana, A. 2022. *Peneliti ITB Implementasikan Nanoteknologi dalam Baterai*, *itb.ac.id*.
- Pisoschi, A.M.; Pop, A. 2015. 'The Role of Antioxidants in the Chemistry of Oxidative: A Review', *European J Med Chem.*, 97, pp. 55–74.
- R. A., B. 2012. 'Mercury Toxicity and Treatment: A Review of the Literature', *J. Environ. Public Health* 2012.
- Research Council, N. 2003. *Reducing the Time from Basic Research to Innovation in the Chemical Sciences, Reducing the Time from Basic Research to Innovation in the Chemical Sciences*. Washington, DC.: The National Academies Press. doi: 10.17226/10676.
- Sa'ud, U. S. 2014. *Inovasi Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Saper R. B., Phillips R. S., Sehgal A., Khouri N., Davis R. B., Paquin J., et al. 2008. 'Lead, Mercury, and Arsenic in US and Indian-manufactured Ayurvedic Medicines Sold Via the Internet.', *JAMA* 300, 8, pp. 915–923.
- Sharma, Y. 2021. *Data Quality: The Not-So Secret Sauce for AI and Machine Learning*, *CAS Blog*.
- Sujarwo, Trisanti, dan W. 2014. *Pengelolaan Sampah Organik dan Anorganik*. Penerbit Universitas Negeri Yogyakarta Press.
- Sukma, R. M. et al. 2023. 'Antioxidant Determining Using an Electrochemical Method', *MDPI*. doi: 10.20944/preprints202307.
- Tkatchenko, A. 2020. 'Machine Learning for Chemical Discovery.', *Nat. Commun*, 11(4125).

- Vama, L. dan Cherekar, M. N. 2020. 'Produksi, Ekstraksi, dan Penggunaan Enzim Ramah Lingkungan Menggunakan Limbah Kulit Buah Jeruk', *Asian Journal of Microbiol, Biotech, Environmental, and Science*, 22(2), pp. 346–351.
- Vama, L. and Cherekar, M. N. 2022. 'Production, Extraction Uses of Eco-Enzyme Using Citrus Fruit Waste: Wealth from Waste', *Biotech. Env. Sc*, 22(2), pp. 346–351.
- Yashin, A.; Yashin, Y.; Xia, X.; Nemzer, B. 2017. 'Antioxidant Activity of Spices and Their Impact on Human Health: A Review', *Antioxidants*, 6, pp. 1–18.
- Ye, Y.; Ji, J.; Sun, Z.; Shen, P.; Sun, X. 2020. 'Recent advances in Electrochemical Biosensors for Antioxidant Analysis in Foodstuff', *TrAC - Trends Anal Chem*, 122(115718).
- Zheng, Y.; Karimi-maleh, H.; Fu, L. 2022. 'Evaluation of Antioxidants Using Electrochemical Sensors: A Bibliometric Analysis', *Sensors*, 22, pp. 1–25.

BAB 15

TANTANGAN KIMIA DIMASA DEPAN: DAMPAK MULTIDIMENSI EVOLUSI INDUSTRI KIMIA HIJAU

Oleh Eka Cahya Muliawati

15.1 Pendahuluan

Polusi air dan udara yang meluas, pengurangan keanekaragaman hayati, perusakan habitat satwa liar, eksploitasi lahan dan sumber daya alam, deforestasi dan perubahan iklim merupakan tantangan paling kritis yang dihadapi dalam sejarah umat manusia hingga saat ini. Isu lingkungan hidup mulai muncul sehubungan dengan tumbuhnya kegiatan industri. Masalah lingkungan dimulai dengan atau diperburuk oleh munculnya revolusi industri (Scanes, 2018; de Marco *et al.*, 2019; Mondal and Palit, 2022).

Revolusi Industri berbasis Manufaktur Hijau adalah istilah untuk metode produksi inovatif yang ditujukan untuk mengurangi dampak lingkungan yang merugikan berdasarkan teknik ekologi yang mengadopsi proses berkelanjutan dalam menjawab tantangan dan isu lingkungan akibat dampak industri konvensional (Haleem *et al.*, 2023).

Paul Anastas dan John Warner memperkenalkan 12 prinsip Kimia Hijau yang masih digunakan hingga sampai saat ini : mencegah terciptanya limbah; memaksimalkan ekonomi; melakukan sintesis kimia relatif aman; merancang produk dan senyawa yang tidak berbahaya; penggunaan pelarut yang aman pada kondisi reaksi; efisiensi energi ; menggunakan bahan baku terbarukan; menghindari turunan kimia; menggunakan katalis;

merancang produk yang mudah terurai pada akhir masa pakainya; proses kimia secara *real time* untuk menghindari kontaminasi dan mencegah kecelakaan. 12 Prinsip ini merekomendasikan tindakan minimalisasi limbah mulai dari perencanaan produksi, sintesis, pemrosesan, analisis, dan tujuannya setelah digunakan. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi bahaya lingkungan (Anastas, 1999; Mishra *et al.*, 2023).

Evolusi kimia hijau berdampak pada multidimensi dan memiliki konsekuensi yang lebih baik pada hasil akhir dari sesuatu yang berkaitan dengan lingkungan, kesehatan, bahkan perusahaan manufaktur.

Bab ini menunjukkan tinjauan kritis terhadap (i) sejarah kimia hijau dan (ii) evolusi kimia, serta (iii) dampaknya terhadap berbagai aspek dan prospek masa depan.

15.2 Sejarah

Proses industrialisasi yang berkembang merupakan tonggak sejarah evolusi ekonomi dunia. Terlepas dari kontribusi terhadap peningkatan kualitas hidup, terdapat dampak negatif terhadap lingkungan yang ditimbulkan oleh pertumbuhan aktivitas industri di planet bumi. Peningkatan populasi yang cepat mengakibatkan peningkatan produksi makanan dengan industrialisasi yang berlebihan, yang menyebabkan peningkatan polusi dan penipisan sumber daya alam. Dengan cara ini, sumber daya alam mulai digunakan seolah-olah tidak ada konsekuensi terhadap masalah lingkungan (Ajayi, 2023).

Meskipun keprihatinan tentang lingkungan terjadi sejak tahun 1949 pada Konferensi Ilmiah Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Konservasi dan Penggunaan Sumber Daya (UNSCCURE) di AS, isu-isu lingkungan menjadi fokus pada tahun 1968 dari Konferensi Para Ahli Antar pemerintah tentang Basis Ilmiah untuk Penggunaan Rasional dan Konservasi Sumber Daya Biosfer, yang dikenal sebagai Konferensi Biosfer. Konferensi Stockholm terjadi di

Swedia pada tahun 1972, dan dihadiri oleh perwakilan dari sejumlah negara, termasuk anggota Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) dan organisasi non-pemerintah, di mana hukum dalam aspek lingkungan juga dipertimbangkan. Melalui konferensi ini, dunia mulai mewaspadai kerusakan lingkungan yang dapat disebabkan oleh menipisnya sumber daya bagi umat manusia. Tahun 1980-an ditandai dengan berbagai konferensi dunia tentang Lingkungan. Setelah evaluasi 10 tahun dari tindakan yang diusulkan di Konferensi Stockholm, PBB membentuk Komisi Dunia untuk Lingkungan dan Pembangunan pada tahun 1983 untuk menghasilkan laporan tentang pembangunan dunia dan lingkungan. Komisi ini didirikan pada saat tekanan yang belum pernah terjadi sebelumnya terhadap lingkungan global dan pengakuan yang berkembang bahwa banyak pembangunan tidak berkelanjutan (*Green Chemistry History - American Chemical Society*, no date)

Sejak tahun 1992, topik pelarut ramah lingkungan dan senyawa kimia yang lebih aman telah menjadi perluasan dan secara resmi mengadopsi nama "kimia hijau". istilah modern dan elegan dalam dua dekade terakhir, pertama kali terutama digunakan dalam komunitas kimia Amerika Serikat, dan Inggris. (de Marco *et al.*, 2019; Lenoir, Schramm and Lalah, 2020)

15.3 Kimia Hijau

Konsep utama kimia dasar dalam menciptakan kimia hijau "*Green Chemistry*" adalah keterampilan dan pengetahuan penggunaan bahan kimia untuk mengurangi atau tidak melibatkan bahan-bahan kimia berbahaya selama perencanaan, pembuatan dan penggunaan serta meminimalkan terhadap ancaman kesehatan manusia dan dampak lingkungan, dengan kata lain berfokus untuk menghilangkan atau meminimalkan timbulan limbah beracun yang lebih besar. Prinsip-prinsip Kimia Hijau didasarkan pada minimalisasi atau non-penggunaan pelarut

beracun dalam proses dan analisis kimia, serta generasi non-residu yang dihasilkan dapat diperbarui dan tidak berbahaya. Selain itu, katalis berperan mempercepat reaksi kimia, menghemat energi dan menghasilkan lebih sedikit limbah produksi. Salah satu prinsipnya adalah juga berkaitan dengan perkembangan kesadaran bahan kimia, setelah masa pemakaian bahan harus bisa terurai dan menjadi produk degradasi yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Prinsip-prinsip ini memperhatikan perencanaan produk, bahan sintesa, pemrosesan, analisis dan tujuannya setelah digunakan (Anastas, 1999; de Marco *et al.*, 2019; Lenoir, Schramm and Lalah, 2020).

Kimia hijau, ilmu interdisipliner yang terus berkembang, dipandang sebagai salah unsur penting dalam manufaktur ramah lingkungan dan mencapai keberlanjutan dalam jangka panjang. Bidang kimia yang terintegrasi dengan keberlanjutan dipandang sebagai landasan kuat untuk mengubah sistem konvensional menjadi sistem hijau (ramah lingkungan). Pergeseran paradigma ini disebabkan meningkatnya kesadaran untuk mengedepankan industri *green manufacturing*. Pemangku kepentingan seperti sektor industri, penelitian, dan kaum akademik dipandang sebagai pendorong utama untuk mempromosikan kimia hijau. Fakta bahwa kimia hijau bukan tentang membersihkan polusi, memungkinkan seseorang untuk memahami bahwa kimia hijau bukanlah akhir dari solusi melainkan tujuan. Dengan demikian, penelitian kimia hijau dianggap tergabung dalam fase desain proses kimia daripada fase implementasi. Untuk alasan yang sama, penggunaan pelarut hijau dan penelitian tentang teknologi ekstraksi hijau mendapat perhatian yang lebih luas akhir-akhir ini.

Subjek mencakup seperangkat 12 prinsip yang dirancang untuk lebih fokus pada material dan desain proses yang mengarah pada produk yang lebih aman termasuk pelarut hijau. Menariknya, sebagian besar prinsip kimia hijau berada di bawah desain proses material. Kimia hijau adalah pendekatan desain dan merupakan

cara yang lebih bersih dan cerdas untuk mencegah polusi dan membangun kehidupan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, bab ini mengedepankan dan mengeksplorasi 12 prinsip kimia hijau dengan sejarah singkat melalui contoh-contoh yang kuat dan studi kasus pada saat yang tepat. Perspektif ini mencerahkan seseorang untuk memperoleh latar belakang pengetahuan tentang kimia hijau dan mempraktekkan teknologi ekstraksi berkelanjutan untuk pembuatan pelarut hijau.

Tabel 15.1. Prinsip Kimia Hijau

No	Nomor Prinsip	Deskripsi dari prinsip
1.	Pencegahan	berkaitan dengan mencegah penghasilan limbah. Lebih baik menghindari pembentukan limbah daripada memperlakukan limbah setelah terbentuk.
2.	Ekonomi Atom	Metode sintetis harus direncanakan agar produk akhir mengandung sebanyak mungkin zat reaktan yang digunakan selama proses. Dengan demikian, penghasilan limbah akan diminimalkan

No	Nomor Prinsip	Deskripsi dari prinsip
3.	Sintesis kimia yang lebih aman	Metode sintetis harus dirancang untuk menggunakan dan menghasilkan zat-zat dengan toksisitas rendah atau tanpa toksisitas secara pekerjaan dan lingkungan. Oleh karena itu, penggantian pelarut beracun dengan pelarut beracun rendah atau tanpa toksisitas sangat disarankan.
4.	Desain bahan kimia yang lebih aman	Perhatian besar harus diberikan pada toksisitas bahan kimia yang dirancang. Mereka tentu harus memenuhi fungsi-fungsi mereka, tetapi juga harus memiliki toksisitas yang rendah
5.	Penggunaan pelarut dan aditif yang lebih aman	Penggunaan pelarut dan zat reaktan lainnya harus dihindari bila memungkinkan. Jika tidak mungkin dihindari, zat-zat ini harus tidak berbahaya.
6	Efisiensi Energi	Semua proses harus mengarah pada faktor efisiensi energi serendah mungkin

No	Nomor Prinsip	Deskripsi dari prinsip
7.	Penggunaan bahan baku terbarukan	Setiap kali secara ekonomi dan teknis layak, bahan baku terbarukan harus digunakan sebagai pengganti bahan baku yang tidak dapat diperbarui.
8.	Pengurangan derivatif	Proses derivatisasi yang tidak perlu harus dihindari atau diminimalkan, karena memerlukan penggunaan tambahan zat reaktan dan, oleh karena itu, menghasilkan limbah.
9.	Katalis	Penggunaan reagen katalitik (selektif sebisa mungkin) lebih baik daripada penggunaan reagen stokiometrik
10.	Desain produk degradasi	Bahan kimia sebaiknya dirancang agar pada akhir fungsinya, mereka terurai menjadi produk degradasi yang tidak berbahaya dan tidak bertahan dalam lingkungan
11.	Analisis secara real-time untuk pencegahan polusi	Metode analisis harus dimonitor secara waktu nyata untuk menghindari terbentuknya zat berbahaya.
12.	Pencegahan kecelakaan	Baik zat-zat maupun cara mereka digunakan dalam

No	Nomor Prinsip	Deskripsi dari prinsip
		suatu proses kimia seharusnya dipilih dengan mempertimbangkan pengurangan potensi kecelakaan, seperti kebocoran, ledakan, dan kebakaran, dengan tujuan untuk meningkatkan keselamatan kerja dan lingkungan

Sumber : (Anastas, 1999)

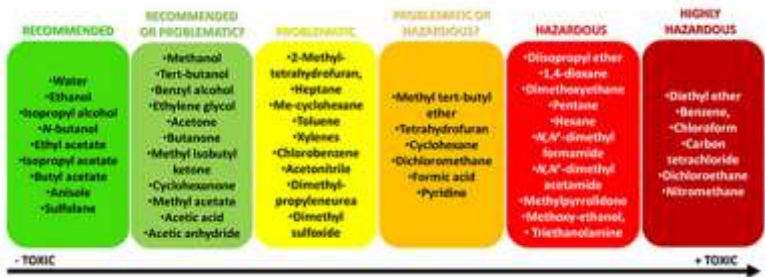
Upaya yang muncul pada tahun 1990-an mengenai pembuatan bahan kimia dengan penggunaan reagen dan pelarut beracun seminimal mungkin juga meningkatkan faktor yang digunakan untuk menilai seberapa hijau suatu proses industri. Faktor ini dinamakan “faktor E” (faktor efisiensi), dikemukakan oleh Roger Sheldon (Sheldon, 1996). Perhitungannya didasarkan pada pembagian massa limbah yang dihasilkan (kg) dengan massa produk jadi (kg). Yang dimaksud dengan “limbah” dalam konteks ini adalah segala sesuatu yang terbentuk selama proses berlangsung, kecuali produk akhir. Jadi, semua proses harus mengarah pada faktor E serendah mungkin. Untuk proses yang benar-benar ramah lingkungan, perhitungan faktor ini harus menghasilkan nilai yang sama dengan nol.

Dapat diamati bahwa semakin tinggi produksi suatu segmen, semakin kecil faktor E-nya. Kilang minyak, misalnya, yang memproduksi dari 1 hingga 100.000.000 ton per tahun, menyajikan faktor E sebesar 0,1, sedangkan industri kimia yang memproduksi dari 10 hingga 1000 ton per tahun, menghadirkan faktor E sebesar 25–100. Dengan demikian, melalui perhitungan faktor E, dapat

diketahui bahwa proses manufaktur skala besar, meskipun dianggap lebih buruk bagi lingkungan dibandingkan dengan operasi skala kecil, ternyata tidak demikian (Sheldon, 1996; Lenardão et al., 2003; Poliakoff and Licence, 2007)

Kinerja rendah industri dalam hal ini, yang juga terjadi di industri bahan kimia halus (fine chemical), berasal dari fakta bahwa pabrik-pabrik industri ini dirancang untuk menggunakan reaksi stoikiometrik klasik, yang menghasilkan jumlah besar garam anorganik sebagai limbah (Lenardão et al., 2003).

Sehubungan dengan toksisitas pelarut, ada beberapa panduan dalam hal ini, yang dilakukan oleh banyak lembaga dan perusahaan. Namun, Prat dan rekan (2014) membuat perbandingan yang menarik dari beberapa panduan ini dan menyusun tabel dengan kompilasi mereka, seperti pada Gambar 15.1 mengilustrasikan klasifikasi di mana mereka membagi pelarut menjadi enam kategori: "direkomendasikan", "direkomendasikan atau bermasalah", "bermasalah", "bermasalah atau berbahaya", "berbahaya" dan "sangat berbahaya" (Prat, Hayler and Wells, 2014).



Gambar 15.1. Klasifikasi Pelarut (Prat, Hayler and Wells, 2014).

Sebagian besar pelarut bersifat mudah menguap, menyebabkan polusi udara dengan mudah. Selain itu, banyak di antaranya bersifat mudah terbakar dan beracun. Oleh karena itu, dimana pun memungkinkan, pelarut organik sebaiknya digantikan

dengan air. Namun, ini seringkali tidak mungkin dilakukan, karena sebagian besar senyawa organik tidak larut dalam pelarut ini. Alternatif lain untuk pelarut organik adalah penggunaan CO superkritikal, yang tidak beracun dan tidak berkontribusi terhadap perubahan iklim, karena merupakan produk samping dari proses lain. Cairan ionik juga merupakan pilihan yang baik, karena mengalami sedikit penguapan sehingga tidak hilang ke atmosfer (Poliakoff and Licence, 2007).

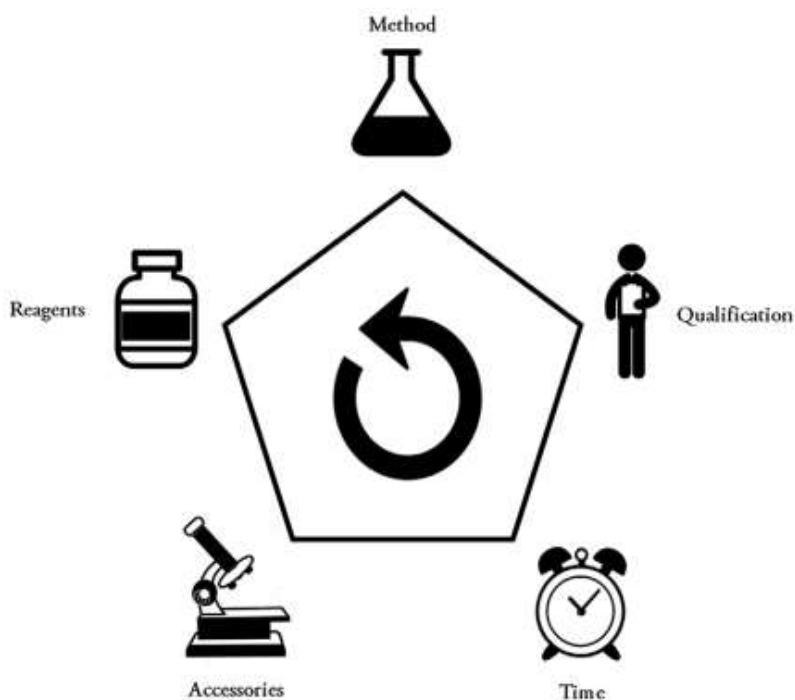
15.4 Analisis Kimia Hijau

Pada tahun 1999, Paul Anastas membahas pentingnya menggunakan 12 prinsip Kimia Hijau yang diajukan olehnya dan John Warner pada tahun sebelumnya (1998), dalam pengembangan metode dan teknik analisis baru, guna mengurangi dampak lingkungan (Anastas, 1999). Salah satu area yang paling aktif dalam Penelitian dan Pengembangan Kimia Hijau adalah pengembangan metodologi analisis. Metode dan teknik baru yang mampu mengurangi dan menghilangkan penggunaan serta pembentukan zat berbahaya dalam semua tahap analisis kimia adalah target utama dari apa yang disebut sebagai Kimia Analitis Hijau "*Green Analytical Chemistry*" (Anastas, 1999; Sanseverino, 2000; Nolasco, Tavares and Bendassolli, 2006).

Pada tahun 2013, Galuszka, Migaszewski, dan Namiński mengadaptasi 12 prinsip Kimia Hijau agar lebih cocok dengan Kimia Analitis Hijau. Oleh karena itu, 12 prinsip Kimia Analitis Hijau dijelaskan dalam Tabel 2. Prinsip-prinsip yang diusulkan oleh Galuszka, Migaszewski, dan Namiński (2013) didasarkan terutama pada penghilangan atau pengurangan penggunaan zat kimia, pengurangan konsumsi listrik, penanganan yang benar terhadap sisa-sisa analitik yang dihasilkan, dan peningkatan keselamatan operator (Galuszka, Migaszewski and Namiński, 2013).

15.5 Dampak Kimia Hijau Dalam Berbagai Aspek

Dilihat dari aspek Industri, industri kimia dan laboratorium saat ini harus mempertimbangkan penerapan Kimia Hijau dalam proses analisis mereka. Metode yang dipilih, reagen yang dipakai, aksesoris yang digunakan, kualifikasi personel, waktu untuk mengevaluasi kualitas produk merupakan bagian dari pemikiran yang sesuai dengan prinsip ekologi, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2 (Kogawa and Nunes Salgado, 2017)



Gambar 15.2. Pemikiran yang sesuai dengan prinsip Ekologi (Kogawa and Nunes Salgado, 2017)

Metode yang sering digunakan untuk penentuan bahan aktif dalam produk kimia dan penyelidikan impuritas dan produk

degradasi adalah kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC). Sebagian besar metode ini menggunakan pelarut organik seperti asetonitril dan/atau metanol. Banyak juga memilih larutan buffer. Namun, sebagian besar dari mereka bahkan belum mencoba menggunakan pelarut organik lain selain kombinasi asetonitril/metanol atau tidak menggunakan larutan buffer dalam fase gerak. Hal itu terjadi karena kurangnya pengetahuan, kelalaian terhadap konsekuensi, kenyamanan, atau keterbiasaan (Rodrigues and Salgado, 2015; Tótolí and Salgado, 2015; Pedroso, Medeiros and Salgado, 2016; Rechelo *et al.*, 2017; de Marco *et al.*, 2019; Perosa, Gonella and Spagnolo, 2019).

Selanjutnya jika dilihat dari aspek lingkungan, Residu yang dihasilkan dalam industri kimia harus diolah terlebih dahulu sebelum dikembalikan ke lingkungan. Namun, proses ini membutuhkan biaya yang lebih banyak tergantung pada toksisitas dan bahayanya pelarut dan material yang dipakai.

Misalnya pembakaran asetonitril menghasilkan limbah yang menyebabkan hujan asam. Bahkan menggunakan proses untuk menetralkan toksisitas pelarut, sebaliknya berdampak negatif pada kita. Beberapa dampak hujan asam akan mengakibatkan rusaknya mobil, bangunan, monumen, vegetasi, sungai, danau dan sebagainya.

Ketika limbah industri dibuang langsung ke perairan bencana ekologis dapat terjadi. Ikan dan tumbuh-tumbuhan mati, air yang terkontaminasi mengubah karakteristiknya dan terjadi eutrofikasi. Dalam beberapa kasus air ini akan digunakan untuk irigasi perkebunan, yang dalam hal ini juga akan terganggu akibat industrialisasi.

Prospek di masa depan teknologi berbasis kimia hijau sangat harus untuk diterapkan dalam kehidupan manusia. Hal penting karena dampak positif yang ditimbulkan lebih banyak dibandingkan dengan pengaruh buruknya. Prospek di masa depan teknologi berbasis kimia hijau salah satunya misalnya menerapkan

teknologi sel bahan bakar untuk mendukung dalam meningkatkan efisiensi energi yang limbahnya mendekati nol. Teknologi sel bahan bakar ada beberapa type salah satunya teknologi sel bahan bakar metanol langsung yang banyak digunakan dalam berbagai peralatan yang portable. Limbah yang dihasilkan dalam sel bahan bakar metanol langsung sangat ramah lingkungan. Teknologi sel bahan bakar metanol langsung adalah teknologi yang dipakai secara portabel dalam menghasilkan listrik dan limbahnya sangat ramah lingkungan yaitu air (Muliawati *et al.*, 2017, 2019; Cahya Muliawati, Yustia and Mirzayanti, 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Ajayi, T.O. 2023. 'Biomimicry: the nexus for achieving sustainability in the people-process-planet relationship', *Heliyon*, 9(5), p. e16180. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E16180>.
- Anastas, P.T. 1999. 'Green Chemistry and the role of analytical methodology development', *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 29(3), pp. 167–175. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408349891199356>.
- 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.
- Gałaszka, A., Migaszkowski, Z. and Namieśnik, J. 2013. 'The 12 principles of green analytical chemistry and the SIGNIFICANCE mnemonic of green analytical practices', *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 50, pp. 78–84. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2013.04.010>.
- Green Chemistry History - American Chemical Society* (no date).
- Haleem, A. et al. 2023. 'A pervasive study on Green Manufacturing towards attaining sustainability', *Green Technologies and Sustainability*, 1(2), p. 100018. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.GRETS.2023.100018>.
- Kogawa, A.C. and Nunes Salgado, H.R. 2017. 'Quality tools for a successful strategic management', *International Journal of Business Process Integration and Management*, 8(3), pp. 153–159. Available at: <https://doi.org/10.1504/IJBPM.2017.085394>.
- Lenardão, E.J. et al. 2003. "Green chemistry" - Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa', *Quimica Nova*, 26(1), pp. 123–129. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100020>.

- Lenoir, D., Schramm, K.W. and Lalah, J.O. 2020. 'Green Chemistry: Some important forerunners and current issues', *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18, p. 100313. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.SCP.2020.100313>.
- de Marco, B.A. *et al.* 2019. 'Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review', *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(1), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.07.011>.
- Mishra, K. *et al.* 2023. 'Waste-to-chemicals: Green solutions for bioeconomy markets', *Science of The Total Environment*, 887, p. 164006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164006>.
- Mondal, S. and Palit, D. 2022. 'Challenges in natural resource management for ecological sustainability', *Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability*, pp. 29–59. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822976-7.00004-1>.
- 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>.
- Nolasco, F.R., Tavares, G.A. and Bendassolli, J.A. 2006. 'Establishment of laboratory waste management programs in universities: Critical review and recommendations', *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 11(2), pp. 118–124. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000200004>.

- Pedroso, T.M., Medeiros, A.C.D. and Salgado, H.R.N. 2016. 'RP-HPLC×HILIC chromatography for quantifying ertapenem sodium with a look at green chemistry', *Talanta*, 160, pp. 745–753. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.08.016>.
- Perosa, A., Gonella, F. and Spagnolo, S. 2019. 'Systems Thinking: Adopting an Emergy Perspective as a Tool for Teaching Green Chemistry', *Journal of Chemical Education*, 96(12), pp. 2784–2793. Available at: <https://doi.org/10.1021/ACS.JCHEMED.9B00377>.
- Poliakoff, M. and Licence, P. 2007. 'Sustainable technology: Green chemistry', *Nature*, 450(7171), pp. 810–812. Available at: <https://doi.org/10.1038/450810A>.
- Prat, D., Hayler, J. and Wells, A. 2014. 'A survey of solvent selection guides', *Green Chemistry*, 16(10), pp. 4546–4551. Available at: <https://doi.org/10.1039/C4GC01149J>.
- Rechelo, B.S. *et al.* 2017. 'NEW ENVIRONMENTALLY FRIENDLY METHOD FOR QUANTIFICATION OF CEFAZOLIN SODIUM', *European Chemical Bulletin*, 6(6), p. 238. Available at: <https://doi.org/10.17628/ECB.2017.6.238-245>.
- Rodrigues, D. and Salgado, H. 2015. 'Development and Validation of a Green Analytical Method of RP-HPLC for Quantification of Cefepime Hydrochloride in Pharmaceutical Dosage Form: Simple, Sensitive and Economic', *Current Pharmaceutical Analysis*, 12(4), pp. 306–314. Available at: <https://doi.org/10.2174/1573412912666151221210921>.
- Sanseverino, A.M. 2000. 'Clean organic synthesis', *Quimica Nova*, 23(1), pp. 102–107. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000100018>.
- Scanes, C.G. 2018. 'Human Activity and Habitat Loss: Destruction, Fragmentation, and Degradation', *Animals and Human Society*, pp. 451–482. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805247-1.00026-5>.

- Sheldon, R.A. 1996. 'Selective catalytic synthesis of fine chemicals: Opportunities and trends', *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 107(1-3), pp. 75-83. Available at: [https://doi.org/10.1016/1381-1169\(95\)00229-4](https://doi.org/10.1016/1381-1169(95)00229-4).
- Tótolí, E.G. and Salgado, H.R.N. 2015. 'Rapid turbidimetric assay to determine the potency of daptomycin in lyophilized powder', *Pharmaceutics*, 7(3), pp. 106-121. Available at: <https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS7030106>.

BIODATA PENULIS



Nur Yusaerah, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Tadris IPA IAIN Parepare

Penulis merupakan Putri Bungsu dari Bapak Muhammadong dan Ibu Raedana yang lahir di Watampone – Sulawesi Selatan pada tanggal 22 Oktober 1995. Penulis adalah Dosen Tetap pada Program Studi Tadris IPA Fakultas Tarbiyah, Institut Agama Islam Negeri Parepare. Penulis menyelesaikan Pendidikan S1 di Program Studi Kimia, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Makassar. Kemudian melanjutkan Pendidikan S2 di Departemen Kimia, Konsentrasi Kimia Analitik di Universitas Airlangga. Hingga saat ini, penulis menekuni bidang Kimia Analitik.

BIODATA PENULIS



Nur Qadri Rasyid, S.Si, M.Si.

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar

Nur Qadri Rasyid, S.Si, M.Si lahir di Sungguminasa pada tanggal 28 Februari 1988. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar tahun 2011. Penulis menyelesaikan pendidikan magister pada Program Studi Kimia, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor tahun 2013 melalui program Beasiswa Unggulan (BU). Penulis bekerja sebagai tenaga pengajar di Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar 2015-sekarang. Penulis aktif mempublikasi artikel ilmiah di jurnal nasional terakreditasi seperti: *Marina Chimica Acta 18 (1)* dengan judul [Analysis of iodine content in seaweed and estimation of iodine intake.](#) *Indonesia Chimica Acta 10(1)* dengan judul [The Determination Of Paraben Preservatives In Body Scrub](#) dan *Indonesia Chimica Acta* [Study of Electrolyte Levels in Diabetic Patients.](#) Jurnal Media Analis Kesehatan 12(2) : 86-93 dengan judul [Metode Sederhana Untuk Mendeteksi Keracunan Alkohol Dalam Saliva.](#)

BIODATA PENULIS



Ani Qomariyah, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi D-IV Teknologi Laboratorium Medik
STIKES Banyuwangi

Penulis lahir di Jombang tanggal 20 Desember 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D-IV Teknologi Laboratorium Medik STIKES Banyuwangi. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia dan S2 pada Jurusan Ilmu Kimia di kampus yang sama yaitu Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pada saat kuliah S2, penulis terpilih dalam kegiatan Internasional seperti mengikuti kegiatan *Spring School* di *Kyoto University* Jepang selama tiga minggu dan terpilih mengikuti penelitian dan perkuliahan di *Hokkaido University* Jepang selama enam bulan dengan beasiswa dari Pemerintah Jepang (JASSO). Penulis mendapatkan beasiswa Bidik Misi dari Kemdikbud RI untuk menyelesaikan studi S1, dan mendapatkan beasiswa LPDP dari Kemenkeu RI untuk menyelesaikan studi S2.

Penulis menekuni bidang Menulis, baik dalam bentuk buku maupun jurnal ilmiah. Buku yang berhasil diterbitkan yaitu Kimia Zat Padat (Book Chapter) oleh penerbit Get Press Indonesia pada tahun 2023. Tulisan-tulisan yang dihasilkan sudah dipublikasikan dalam bentuk jurnal ilmiah internasional dan nasional, serta dimuat

dalam media massa (koran). Tulisan yang berhasil dipublikasikan pada Jurnal Internasional Bereputasi (Q1) berjudul "*Octyl and propylsulfonic acid co-fixed Fe₃O₄@ SiO₂ as a magnetically separable, highly active and reusable solid acid catalyst in water*" (*Molecular Catalyst* 475, 110248, 2019). Tulisan yang berhasil dipublikasikan pada Jurnal Internasional yaitu "*An Analysis of Mercury (Hg) Levels in River Water Around the Gold Mining Area in Banyuwangi Regency*" (*International Journal of Medicine and Health*, 1 (4), 16-22, 2022). Tulisan yang berhasil dipublikasikan pada Jurnal Nasional terakreditasi Dikti berjumlah 6 judul dan tulisan yang dipublikasikan pada Jurnal Nasional berjumlah 4 judul. Selain aktif menulis sebagai bagian dari Tri Dharma Perguruan Tinggi, penulis juga aktif mengikuti berbagai organisasi kemasyarakatan, membimbing mahasiswa dalam mengikuti hibah kompetisi, mengikuti berbagai seminar atau *workshop* serta mengikuti berbagai pelatihan.

Penulis dapat dihubungi melalui email ani.qomariyah@stikesbanyuwangi.ac.id

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



Dr. Andis Sugrani, M.Si

Dosen Program Studi DIII Teknologi Laboratorium Medis
Fakultas Teknologi Kesehatan
Universitas Megarezky

Penulis lahir di Kaccope (Bone) tanggal 26 Juni 1985. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA Universitas Negeri Makassar (2007) kemudian S2 & S3 pada Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2010 dan 2020. Saat ini penulis menjabat sebagai koordinator Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (UP2M) Prodi DIII TLM. Penulis sebelumnya telah menerbitkan satu Chapterbook bersama Get Press Indonesia, dengan judul buku "Elektrokimia" terbit tahun 2023. Penulis juga aktif menerbitkan Jurnal Penelitian dan Pengabdian Nasional maupun Internasional

BIODATA PENULIS



Dra. Hestina, M.Si

Dosen Program Studi S-1 Kimia
Fakultas SAINTEK Universitas Sari Mutiara Indonesia

Penulis lahir di Padang tanggal 25 Maret 1968. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S-1 Kimia Fakultas Sains, Informasi dan Teknologi Universitas Sari Mutiara Indonesia. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia dan melanjutkan S2 pada Kimia.

BIODATA PENULIS



Ir. Herlina Rahim, ST., M.Si

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Rappang pada 26 Juni 1976. Penulis adalah Dosen di Program Studi Teknik Kimia Mineral Politeknik ATI Makassar yang merupakan salah satu institusi Pendidikan Vokasi di bawah Kementerian Perindustrian yang berlokasi di Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sarjana Tahun 1999 di Universitas Muslim Indonesia program studi Teknik Kimia dan Pendidikan Magister tahun 2005 di Universitas Hasanuddin dalam bidang Kimia. Penulis aktif dalam kolaborasi penelitian bidang Proses Kimia dan Kimia Analisis, dengan fokus utama dalam bidang proses mineral. Penulis juga aktif dalam organisasi profesi Cabang Sulawesi Selatan yakni Himpunan Kimia Indonesia (HKI), Ikatan Asesor Profesional Indonesia (IASPRO) dan Persatuan Insinyur Indonesia (PII). Artikel ilmiah hasil penelitian penulis dapat diakses melalui ID SINTA 6797470, ID Google Scholar rsBo98AAAAJ&hl.

BIODATA PENULIS



Aliyah Fahmi S.Si, M.Si

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



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 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 mengajar Kimia Organik dan Kimia Atsiri 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



Ariani H. Hutuba, S.Farm., M.Farm

Dosen Program Studi Farmasi

Fakultas Olahraga dan Kesehatan Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Gorontalo tanggal 7 November 1994. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Farmasi Fakultas Olahraga dan Kesehatan Universitas Negeri Gorontalo. Menempuh jenjang Pendidikan Sarjana pada jurusan farmasi dan melanjutkan Magister Drug Development di Universitas Airlangga. Sebagai Pengajar, penulis mempunyai pengalaman dalam mata kuliah kimia analisis obat, biologi molecular, kimia medisinal, dan sintesis senyawa obat.

BIODATA PENULIS



Melani Ganing, S.Si., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Ujung Pandang tanggal 05 Januari 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik ATI Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia Universitas Negeri Makassar pada tahun 2015 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Muslim Indonesia selesai tahun 2021.

BIODATA PENULIS



Muhrinsyah Fatimura,S.T,M.T
Dosen Program Studi Teknik Kimia
Universitas PGRI Palembang

Penulis lahir di Palembang tanggal 1 Juni 1975 . Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang hingga saat ini. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya tahun 1999 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia BKU Teknologi Petrokimia Universitas Sriwijaya selesai tahun 2012 . saat ini penulis sedang menempuh S3 Ilmu Teknik BKU Teknik Kimia di Universitas Sriwijaya. Penulis saat ini juga merupakan chief editor dari jurnal redoks .

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 dan reaksi katalisis kimia organik pada senyawa-senyawa asam abietat (AA) yang terkandung dalam getah pinus. Penulis menyukai dunia pendidikan sehingga penulis mendirikan sebuah Lembaga Bimbingan Belajar (LBB) *Hybrid* Berbasis Multiintelegrasi Insan Adzkaa 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 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.