

# TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

---

## Penulis :

- Effine Lourrinx
- Wiwiek Mulyani
- Dyah Susilowati Pradnya Paramita
- Musywaroh
- Satya Darmayani
- Tri Yuni Iswati
- Musfirah
- Lukman Handoko
- Suriani Nur
- Bulkis Musa
- Waode Rustiah
- Tri Joko Daryanto
- Ana Hardiana
- Marlia Mamede

# **TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN**

**Effine Lourrinx  
Wiwiek Mulyani  
Dyah Susilowati Pradnya Paramita  
Musyawaroh  
Satya Darmayani  
Tri Yuni Iswati  
Musfirah  
Lukman Handoko  
Suriani Nur  
Bulkis Musa  
Waode Rustiah  
Tri Joko Daryanto  
Ana Hardiana  
Marlia Mamede**



**PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI**

# **TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN**

## **Penulis :**

Effine Lourrinx  
Wiwiek Mulyani  
Dyah Susilowati Pradnya Paramita  
Musyawaroh  
Satya Darmayani  
Tri Yuni Iswati  
Musfirah  
Lukman Handoko  
Suriani Nur  
Bulkis Musa  
Waode Rustiah  
Tri Joko Daryanto  
Ana Hardiana  
Marlia Mamede

**ISBN : 978-623-8051-87-8**

**Editor :** Rantika Maida Sahara, S.Tr.Kes.

**Penyunting :** Aulia Syaharani, S.Tr.Kes.

**Desain Sampul dan Tata Letak :** Handri Maika Saputra, S.ST

**Penerbit :** PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

**Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022**

## **Redaksi :**

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001  
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tangah  
Padang Sumatera Barat  
Website : [www.globaleksekutifteknologi.co.id](http://www.globaleksekutifteknologi.co.id)  
Email : [globaleksekutifteknologi@gmail.com](mailto:globaleksekutifteknologi@gmail.com)

Cetakan pertama, Desember 2022

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

## **KATA PENGANTAR**

Puji Syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa. Atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Buku Hasil Kolaborasi bertema “Toksikologi Lingkungan” dengan tepat waktu.

Buku kolaborasi ini disusun atas kerjasama antar sesama penulis yang berasal dari berbagai latar belakang profesi dan lintas daerah di seluruh Indonesia. Selain itu, buku kolaborasi dapat menjadi wadah untuk menyatukan berbagai gagasan dan pemikiran dari seorang pakar atau ahli dari seluruh Indonesia dan menjadikan media silaturahmi akademik.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman penulis dan penerbit. Ucapan terima kasih juga disampaikan pada keluarga yang telah mendukung dan semua pihak yang terlibat dalam membantu menyelesaikan buku ini.

Penulis, Desember 2022

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB 1 SEJARAH DAN PERKEMBANGAN TOKSIKOLOGI. 1</b>	
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Sejarah Toksikologi .....	1
1.3 Perkembangan Toksikologi.....	3
1.4 Cakupan Bidang Ilmu Toksikologi.....	7
1.5 Masa Depan Toksikologi.....	8
DAFTAR PUSTAKA .....	11
<b>BAB 2 KONSEP DASAR RACUN.....</b>	<b>13</b>
2.1 Pengertian Racun.....	13
2.2 Pengertian Racun Menurut Para Ahli .....	13
2.3 Klasifikasi Racun .....	13
2.4 Penggolongan Racun .....	14
2.5 Mekanisme terjadinya keracunan .....	16
2.6 Efek racun terhadap tubuh .....	16
DAFTAR PUSTAKA .....	23
<b>BAB 3 SISTEM PERTAHANAN PADA MANUSIA .....</b>	<b>25</b>
3.1 Pendahuluan.....	25
3.2 Pertahanan Manusia .....	25
3.2.1 Jarak antar Bangunan.....	26
3.2.2 Degradasi Gender .....	28
3.2.3 Humiditas Lingkungan .....	31
3.2.4 Adat istiadat .....	32
3.2.5 Ergonomi Tubuh .....	33
3.2.6 Gelombang Elektromagnetik .....	37
DAFTAR PUSTAKA .....	40
<b>BAB 4 KONSEP TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Pendahuluan.....	41
4.2 Toksikologi Lingkungan sebagai Ilmu Interdisipliner.....	43
4.3 Sejarah Singkat Toksikologi Lingkungan.....	44
4.3.1 Interaksi dan Hubungan Toksikologi Lingkungan dengan Pengelolaan Sistem Ekologi.....	45

4.3.2 Perundang-undangan .....	47
4.3.3 Penggunaan Model dalam Ilmu Lingkungan .....	48
4.4 Kerangka Kerja untuk Toksikologi Lingkungan .....	49
4.4.1 Sudut Pandang Klasik untuk Mengklasifikasikan Efek Toksikologi .....	49
4.4.2 Kerangka Alternatif Menggabungkan Teori Kompleksitas .....	53
4.4.3 Skala Spasial dan Temporal .....	55
4.4.4 Menggabungkan Skala dan Dinamika Ekologis: Paradigma Dinamis Patch Hirarkis .....	57
DAFTAR PUSTAKA .....	59
<b>BAB 5 JALUR PAJANAN RACUN .....</b>	<b>61</b>
5.1 Pendahuluan .....	61
5.1.1 Hubungan Dosis-Mekanisme Bahan Toksik .....	61
5.2 Mekanisme Toksik .....	63
5.2.1 Fase Eksposisi .....	64
5.2.2 Fase Toksokinetik .....	65
5.2.3 Fase Toksodinamik .....	66
5.2.4 Bioakumulasi .....	66
5.3 Apa Yang Harus Diketahui Dan Dilakukan Pada Peristiwa Keracunan .....	69
5.3.1 Identifikasi .....	69
5.3.2 Petunjuk untuk menentukan diagnosis keracunan .....	69
5.3.3 Sumber dan macam racun .....	71
5.3.4 Bentuk bahan-bahan beracun .....	71
5.3.5 Cara-cara masuknya ke dalam tubuh .....	71
5.3.6 Pengaruh bahan-bahan racun pada tubuh .....	73
5.4 Faktor -Faktor Yang Mempengaruhi Ringan Atau Beratnya Keracunan .....	74
5.5 Macam/Jenis Bahaya Dalam Perusahaan (Keracunan Dan Kecelakaan) .....	75
5.6 Prinsip Pertolongan Pada Keracunan .....	76
5.7 Penyebab racun dan cara penanganannya .....	77
5.7.1 Melalui Mulut .....	77
5.7.2 Mengurangi Absorpsi .....	77
5.7.3 Meningkatkan Eliminasi .....	80

5.7.4 Melalui Hidung.....	82
5.7.5 Kontaminasi Kulit.....	82
5.7.6 Kontaminasi Mata .....	83
5.7.7 Sengatan Dan Gigitan Ular Berbisa.....	83
DAFTAR PUSTAKA .....	84
<b>BAB 6 BADAN ORGANISASI STANDARISASI</b>	
<b>TOKSIKOLOGI.....</b>	<b>85</b>
6.1 Pendahuluan.....	85
6.2 Standar, Organisasi Dan Batas Aman .....	86
6.2.1 Badan Organisasi Standarisasi.....	87
6.2.2 Standar Penyehatan Udara Ambien.....	91
6.2.3 Klasifikasi Racun Industri Ditentukan Dengan Besarnya LD50 .....	92
6.2.4 Usaha-Usaha Preventiv .....	98
DAFTAR PUSTAKA .....	99
<b>BAB 7 STANDAR PENYEHATAN UDARA AMBIEN .....</b>	<b>101</b>
7.1 Pendahuluan.....	101
7.2 Konsep Pencemaran Udara Ambien.....	101
7.3 Parameter Kualitas Udara Ambien.....	103
7.4 Metode Pengukuran & Pemantauan Kualitas Udara Ambien.....	103
7.4.1 Indeks Kualitas Udara .....	104
7.4.2 Indeks Standar Pencemar Udara .....	107
7.5 Pentingnya Penyehatan Udara Ambien.....	111
7.5.1 Dampak Kesehatan Pencemaran Udara Ambien Secara Global .....	111
7.5.2 Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara Ambien.....	113
DAFTAR PUSTAKA .....	115
<b>BAB 8 STANDAR PENGELOLAAN BAHAN KIMIA</b>	
<b>DI TEMPAT KERJA.....</b>	<b>117</b>
8.1 Pendahuluan.....	117
8.2 Manfaat.....	118
8.3 Tempat Kerja dan Konsep Pengelolaan Bahan Kimia ..	118
8.3.1 Tempat Kerja.....	118
8.3.2 Pengelolaan Bahan Kimia .....	118
8.4 Kesimpulan .....	124

DAFTAR PUSTAKA .....	125
<b>BAB 9 STANDAR BUANGAN KIMIA DI INDUSTRI.....</b>	<b>127</b>
9.1 Pendahuluan.....	127
9.2 Jenis Buangan Industri .....	128
9.2.1 Buangan industri Padat.....	129
9.2.2 Buangan Industri Cair .....	129
9.2.3 Buangan Industri Gas .....	131
9.2.4 Buangan Industri Berbahaya dan Beracun.....	131
9.3 Standarisasi Buangan Kimia Industri untuk Lingkungan Hidup Lestari .....	133
DAFTAR PUSTAKA.....	145
<b>BAB 10 KAIDAH UJI DAYA BUNUH.....</b>	<b>137</b>
10.1 Pendahuluan.....	137
10.2 Asas Umum.....	138
10.2.1 Kondisi Efek Toksik.....	139
10.2.2 Mekanisme Efek Toksik.....	139
10.2.3 Wujud Efek Toksik.....	139
10.2.4 Sifat Efek Toksik .....	140
10.3 Asas Prosedur Uji Toksikologi.....	140
10.4 Pedoman Uji Daya Bunuh .....	141
10.5 Prinsip Uji Toksikologi.....	141
10.5.1 Uji Toksisitas Akut.....	143
10.5.2 Uji Toksisitas Subkronik.....	144
10.5.3 Uji Toksisitas Kronis.....	144
DAFTAR PUSTAKA .....	145
<b>BAB 11 LD50 DAN LC50.....</b>	<b>147</b>
11.1 Pendahuluan.....	147
11.2 Lethal Dose 50 (LD50).....	148
11.2.1 Pengertian <i>Lethal Dose 50</i> (LD50).....	148
11.2.2 Kisaran Toksisitas untuk <i>Lethal Dose 50</i> .....	149
11.2.3 Bahan Kimia Beracun dan Faktor yang Menentukan Tingkat Keracunan .....	150
11.2.4 Ambang Batas Bahan Toksin .....	152
11.3 Lethal Concentration 50 (LC <sub>50</sub> ).....	153
11.3.1 Pengertian <i>Lethal Concentration 50</i> (LC50) .....	154
11.3.2 Klasifikasi <i>Lethal Concentration 50</i> .....	155
11.3.3 Uji Toksisitas <i>Lethal Concentration 50</i> (LC50).....	155





11.3.4 Analisis dan Perhitungan LC50 dari Brine Shimp Lethality Test .....	156
DAFTAR PUSTAKA .....	158
<b>BAB 12 FAKTOR PENENTU RISIKO TOKSISITAS .....</b>	<b>159</b>
12.1 Terminologi Toksisitas .....	159
12.2 Mekanisme Toksisitas.....	159
12.2.1 Kerusakan Struktur Sel.....	160
12.2.2 Kombinasi Kimia Langsung dengan Konstituen Sel.....	160
12.2.3 Pengaruhnya Terhadap Enzim .....	161
12.2.4 Dampak Tidak Langsung dari Adanya Polutan...	163
12.3 Faktor-Faktor yang Memodifikasi Aktivitas Toksisitas .....	165
12.3.1 Sifat Fisikokimia Polutan.....	165
12.3.2 Waktu dan Cara Pemaparan.....	166
12.3.3 Faktor Lingkungan.....	166
12.3.4 Interaksi Polutan.....	167
12.3.5 Faktor Biologis yang Mempengaruhi Toksisitas	168
12.3.6 Faktor Gizi .....	169
12.4 Risiko dan Dampak Toksisitas.....	169
12.4.1 Polutan Gas Anorganik .....	169
12.4.2 Logam Berat.....	171
DAFTAR PUSTAKA .....	174
<b>BAB 13 PENILAIAN PAPARAN .....</b>	<b>177</b>
13.1 Pendahuluan.....	177
13.2 Penilaian Paparan.....	178
13.3 Dasar Pengukuran Paparan.....	179
13.4 Jenis Paparan.....	180
13.5 Pengukuran Paparan.....	180
13.6 Paparan Lingkungan.....	183
13.7 Kesimpulan.....	187
DAFTAR PUSTAKA .....	188
<b>BAB 14 PENILAIAN RESIKO TOKSIKAN PADA LINGKUNGAN.....</b>	<b>189</b>
14.1 Pendahuluan.....	189
14.2 Defenisi Racun dan Keracunan.....	191
14.2.1 Klasifikasi Toksik/Racun.....	193

14.2.2 Efek Toksik/Racun.....	195
14.3 Resiko Toksikan Pada Lingkungan.....	196
14.3.1 Toksitas Logam Berat .....	197
DAFTAR PUSTAKA .....	204

**BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3.1</b> : Sirkulasi Udara yang Terhalang.....	27
<b>Gambar 3.2</b> : Jarak Antar Bangunan Ideal .....	28
<b>Gambar 3.3</b> : Hirarki Makhluk Hidup.....	30
<b>Gambar 3.4</b> : Solusi Humiditas Lingkungan .....	32
<b>Gambar 3.5</b> : Keseimbangan Makrokosmos dan Mikrokosmos.....	33
<b>Gambar 3.6</b> : Dampak Ergonomi pada Pergerakan Tubuh.....	34
<b>Gambar 3.7</b> : Ergonomi Tubuh Ideal .....	35
<b>Gambar 3.8</b> : Ruang Gelombang Elektromagnetik .....	38
<b>Gambar 3.9</b> : Gelombang Elektromagnetik .....	39
<b>Gambar 3.10</b> : Radiasi Elektromagnetik .....	39
<b>Gambar 4.1</b> : Hubungan Antara Pengiriman Dosis Yang Diberikan Ke Situs Target Dan Timbulnya Respon Yang Merugikan Atau Toksik.....	42
<b>Gambar 4.2</b> : Komponen Toksikologi Lingkungan.....	43
<b>Gambar 4.3</b> : Tiga Fungsi Toksikologi Lingkungan.....	50
<b>Gambar 4.4</b> : Parameter Dan Indikasi Interaksi Xenobiotik Dengan Ekosistem .....	50
<b>Gambar 4.5</b> : Kerangka Organisme Dan Non Organisme .....	54
<b>Gambar 4.6</b> : Tumpang Tindih Skala Spasial Dan Temporal Dalam Toksikologi Lingkungan.....	55
<b>Gambar 4.7</b> : Tumpang Tindih Skala Spasial Dan Temporal Dalam Kontaminasi Kimia.....	57
<b>Gambar 5.1</b> : Kurva hubungan dosis-reaksi.....	62
<b>Gambar 5.2</b> : Deretan proses fase mekanisme toksik pada organisme.....	64
<b>Gambar 5.3</b> : Cara masuk xenobiotik ke dalam tubuh manusia .....	65
<b>Gambar 5.4</b> : Biakumulasi dan biomagnifikasi di makhluk hidup akuatik.....	68
<b>Gambar 6.1</b> : Kurva Dosis-Respons, <i>Threshold</i> (Nilai Ambang), dan NOAEL.....	93
<b>Gambar 6.2</b> : Kurva Dosis-Respons, <i>Threshold</i> (Nilai Ambang), dan NOAEL.....	94

<b>Gambar 6.3 :</b> Keterkaitan imu Toksologi dan ilmu-ilmu lain .....	97
<b>Gambar 7.1 :</b> Komposisi alamiah udara ambien.....	102
<b>Gambar 7.2 :</b> Peta Sebaran Titik Pemantauan Kualitas Udara Ambien di berbagai Kabupaten/ Kota di Indonesia .....	105
<b>Gambar 7.3 :</b> <i>Trend</i> Konsentrasi Rata-rata NO <sub>2</sub> dan SO <sub>2</sub> Nasional Tahun 2015-2019 .....	106
<b>Gambar 7.4</b> Data ISPU Jakarta dan Yogyakarta Tahun 2020 .....	110
<b>Gambar 8.1 :</b> Labeling.....	121
<b>Gambar 9.1 :</b> Buangan industri padat.....	131
<b>Gambar 9.2 :</b> buangan industri cair.....	130
<b>Gambar 9.3 :</b> Buangan Industri Gas.....	131
<b>Gambar 9.4 :</b> Pengolahan limbah B3 oleh perusahaan tertentu .....	132
<b>Gambar 12.1 :</b> Sintesis Fluorocitrate Menghambat Siklus Tca .....	162
<b>Gambar 12.2 :</b> Pembentukan Histamin Dari Histidin.....	163
<b>Gambar 12.3 :</b> Contoh Chelation .....	164
<b>Gambar 12.4 :</b> Reaksi Cs <sub>2</sub> Dengan Protein Dan Asam Amino .....	165
<b>Gambar 13.1 :</b> Proses Mengukur Paparan .....	179
<b>Gambar 13.2 :</b> Cara Mengukur Paparan .....	180
<b>Gambar 14.1 :</b> Dampak Pembangunan Terhadap Kesejahteraan .....	190
<b>Gambar 14.2 :</b> Senyawa Lokal yang berefek sistemik.....	195
<b>Gambar 14.3 :</b> Dampak Pencemaran Lingkungan.....	197

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> : Data Antropometri Masyarakat Indonesia serta Dimensionalnya.....	36
<b>Tabel 3.2</b> : Data Antropometri Masyarakat Indonesia berdasarkan Usia.....	37
<b>Tabel 4.1</b> : Asumsi Sentral Paradigma HPD .....	42
<b>Tabel 6.1</b> : Kategori Toksisitas Relatif.....	92
<b>Tabel 6.2</b> : Dosis Normal dan Dosis Letal Bahan-bahan Umum.....	95
<b>Tabel 6.3</b> : NAB Di Udara Tempat Kerja.....	96
<b>Tabel 7.1</b> : Standar Kualitas Udara Berdasarkan <i>EU</i> <i>directives</i> .....	104
<b>Tabel 7.2</b> : Baku Mutu Udara Berdasarkan WHO .....	104
<b>Tabel 7.3</b> : Tabel Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU .....	108
<b>Tabel 7.4</b> : Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) .....	109
<b>Tabel 11.1</b> : Klasifikasi toksisitas LD <sub>50</sub> .....	150
<b>Tabel 11.1</b> : Tingkat Nilai Toksisitas LC <sub>50</sub> .....	156



# **BAB 1**

# **SEJARAH DAN PERKEMBANGAN**

# **TOKSIKOLOGI**

*Oleh Effine Lourrinx*

## **1.1 Pendahuluan**

Toksikologi adalah cabang ilmu yang mempelajari efek berbahaya dari bahan kimia yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Semua kegiatan domestik dan industri selalu melibatkan penggunaan bahan kimia berbahaya. Dengan berkembangnya zat beracun yang sekarang banyak digunakan di rumah tangga dan industri, perlu adanya perkembangan baik dalam penggunaan maupun pengetahuan toksikologi untuk pencegahan dari efek berbahaya yang ditimbulkan.

## **1.2 Sejarah Toksikologi**

Sejak perkembangan peradaban manusia, berbagai bahan seperti tumbuhan dan mineral telah dicoba secara alami untuk digunakan sebagai bahan makanan. Melalui pengalaman tersebut, manusia belajar tentang membedakan makanan yang aman dikonsumsi dan juga yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Dalam konteks ini, makanan berarti bahan-bahan yang aman dan berguna bagi tubuh saat dimakan dan yang dibutuhkan tubuh untuk hidup atau berfungsi. Sedangkan yang tidak masuk dalam kategori aman dianggap sebagai racun yang dianggap berbahaya bagi tubuh manusia.

Kata racun (*toxic*) berasal dari bahasa Yunani yaitu *tox* yang berarti panah. Merujuk pada masa itu dimana panah digunakan sebagai senjata dalam peperangan dan anak panah selalu mengandung racun. Di dalam dokumen "Papyrus Ebers" sekitar tahun 1552 SM berisi informasi lengkap tentang obat-obatan dan obat-obatan oleh orang Mesir kuno. Papyrus juga mengandung ramuan beracun seperti antimon (Sb), tembaga, timbal, hyosiamus, opium, terpentin, dan patina. Sedangkan di dalam Charaka Samhita



India (tahun 500-600 SM) menyatakan bahwa tembaga, besi, emas, timbal, perak dan seng adalah zat beracun. Sedangkan di dalam Susurata Samhita mendokumentasikan racun makanan, tumbuhan dan hewan, dan penawar gigitan ular (Ariens, et al., 1986).

Hippocrates (tahun 460-370 SM) merupakan sosok yang dianggap sebagai bapak kedokteran dan juga dikenal sebagai ahli toksikologi pada masanya. Dia menulis banyak tentang bisa ular dan mengatakan dalam bukunya bahwa orang Mesir kuno memiliki pengetahuan tentang penangkal racun dengan menghambat tingkat penyerapan racun dari saluran pencernaan. Selain itu, terdapat pula seorang tokoh terkenal di era Mesir dan Romawi kuno yang bernama Pendasius Dioscorides (tahun 50 M), dikenal sebagai bapak dokter militer *Materia Medica*. Dalam bukunya, ia mengklasifikasikan racun tumbuhan, hewan dan mineral (Ling, 2000).

Hal ini membuktikan bahwa efek berbahaya toksisitas yang ditimbulkan oleh zat beracun (*toxons*) telah diketahui sejak awal peradaban manusia. Manusia sering menggunakan efek racun ini untuk tujuan seperti pembunuhan dan bunuh diri. Untuk mencegah keracunan, orang terus-menerus berusaha mencari dan mengembangkan tindakan pencegahan atau memberikan penawar racun, dimana upaya tersebut bertepatan dengan perkembangan toksikologi itu sendiri. Evaluasi yang lebih kritis dalam upaya tersebut pertama kali digagas oleh Maimonides (tahun 1135-1204) dalam bukunya yang terkenal berjudul "Racun dan Andotumnya" (Lu, 1995).

Kontribusi yang lebih penting untuk kemajuan toksikologi datang dari abad ke-16 dan seterusnya. Paracelcius, merupakan nama samaran Philippus Aureolus Theophrastus Bombast von Hohenheim (tahun 1493-1541), seorang ahli toksikologi hebat yang pertama kali menetapkan konsep dasar toksikologi. Hipotesisnya menyatakan:

*"Semua zat adalah racun dan tidak ada yang tidak beracun. Hanya dosis yang membuatnya tidak beracun."*

Pernyataan ini membentuk dasar untuk pengembangan masa depan konsep hubungan dosis reseptor dan indeks terapi (Ling, 2000).

Matthieu Joseph Bonaventura Orfila dianggap sebagai bapak toksikologi modern. Orfila adalah orang Spanyol yang lahir di Menorca (tahun 1787-1853), ia belajar kimia dan matematika untuk awal karirnya sebelum akhirnya melanjutkan pendidikan kedokteran di Paris, Perancis. Dalam tulisannya (sekitar tahun 1814-1815) ia mengembangkan hubungan sistematis antara informasi kimia dan biologi tentang racun. Dia merupakan orang yang pertama kali menjelaskan pentingnya analisis kimia untuk membuktikan bahwa gejala yang timbul terkait dengan keberadaan bahan kimia tertentu dalam tubuh, serta mengembangkan metode dan menunjukkan pentingnya analisis kimia sebagai bukti forensik dalam kasus kematian akibat racun. Orfila bekerja sebagai ilmuwan medikolegal di Sorbonne, Paris. Ia memainkan peran kunci dalam LaFarge Affair di Paris (pembunuhan arsenik), menggunakan teknik analisis arsen untuk membuktikan bahwa penyebab kematian adalah keracunan arsen. Orfila dikenal sebagai bapak toksikologi modern karena minatnya terpusat pada efek toksik. Ia memperkenalkan metodologi kuantitatif dalam studi aksi toksik pada hewan dimana pendekatan tersebut melahirkan bidang toksikologi modern yaitu toksikologi forensik. Pada bukunya yang berjudul *Traite des poison* yang terbit pada tahun 1814, dia membagi klasifikasi racun menjadi enam kelompok, yaitu: *corrosives, astringents, acrids, stupefying/narcotic, narcoticacid, dan septica/putreficants* (Lu, 1995).

### **1.3 Perkembangan Toksikologi**

Pada perkembangan zaman modern, masyarakat kerap kali menuntut adanya perubahan ke arah yang lebih baik dalam hal kondisi kesehatan serta kehidupan, antara lain yaitu makanan yang bergizi dan mutu kesehatan yang baik. Dalam hal memenuhi tujuan tersebut, beragam jenis bahan kimia diproduksi dan digunakan dalam jumlah besar. Bahan kimia diproduksi dalam jumlah masif baik di negara maju maupun di negara berkembang.

Meningkatnya jumlah penduduk di dunia menimbulkan dampak yang salah satunya meningkatnya jumlah produksi pangan. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan bahan kimia untuk menunjang produksi pangan seperti pupuk, pestisida, dan

herbisida. Pemakaian pestisida sering kali ditemukan tidak sesuai dengan aturan dan pemakaian pestisida secara berlebih justru memberi beban pencemaran terhadap lingkungan serta perubahan ekosistem karena pembasmian pada salah satu hama tanaman akan berefek pada rantai makanan dari organisme tersebut. Hal ini mengakibatkan berkurangnya atau bahkan musnahnya serangga predator tersebut.

Pemakaian pestisida ditengarai dapat menyebabkan mutasi genetik dari hama tanaman tersebut, sehingga pada akhirnya muncul hama tanaman baru yang justru resisten terhadap pestisida jenis tertentu. Pemakaian pestisida dengan cara yang tidak benar juga merupakan penyebab yang dapat menimbulkan induksi toksisitas kronik. Petani yang berorientasi pada keuntungan yang tinggi dari hasil pertanian tidak jarang melakukan penyemprotan pestisida berlebih dan justru dilakukan pada produk pertanian satu-dua hari sebelum panen dengan tujuan buah atau daun sayuran tidak termakan hama tanaman sebelum panen. Dengan demikian, maka akan diperoleh buah atau sayuran yang tidak termakan oleh hama tanaman.

Namun, tindakan seperti ini justru dapat membahayakan konsumen karena pestisida kemungkinan dapat terakumulasi secara perlahan pada tubuh konsumen melalui konsumsi buah atau sayuran yang sebelumnya diberikan pestisida sebelum pemanenan.

Jumlah kasus keracunan akut dan kronis yang disebabkan oleh pencemaran lingkungan dari proses produksi, seperti pencemaran ginger jake dengan tri-o-cresyl di Detroit, Michigan pada tahun 1930-an, yang menyebabkan neurotoksisitas dan keracunan pada 16.000 penduduk.

Pada tahun 1952 di London, jumlah kematian akibat penyakit jantung dan paru-paru meningkat. Penyebabnya adalah polusi udara dari sulfur dioksida dan padatan tersuspensi, yang bersumber dari air limbah industri Inggris pada saat itu.

Penyakit Minamata, yang mewabah di Jepang pada 1950-an, disebabkan oleh limbah industri yang mengandung methylmercury yang dibuang ke Teluk Minamata dan menyebabkan ikan-ikan di teluk tersebut terkontaminasi methylmercury. Ikan yang terkontaminasi ini dikonsumsi oleh penduduk di sekitar teluk

menyebabkan methylmercury menumpuk di tubuh mereka. Methylmercury merupakan senyawa toksik yang menyebabkan kerusakan saraf yang parah, salah satunya adalah kebutaan.

Pada akhir 1950-an sampai dengan awal 1960-an, ada kasus keracunan yang dikenal sebagai kasus thalidomide di Eropa Barat. Thalidomide adalah senyawa pertama yang disintesis untuk mengendalikan mual dan muntah. Karena efektivitasnya pada saat itu sering diresepkan untuk wanita hamil untuk mengontrol mual dan muntah, yang biasa terjadi pada awal kehamilan. Belakangan diketahui bahwa salah satu rasemat thalidomide efektif menghambat pertumbuhan organ janin dalam kandungan.

Contoh pencemaran di Indonesia dari proses produksi adalah kasus Teluk Buyat. Sejauh ini, kasus thalidomide menjadi kontroversi. Peristiwa tragis keracunan skala besar ini telah mendorong program pengujian yang lebih intensif yang telah mengungkapkan karakteristik dan target efek toksik yang berbeda. Ada kebutuhan untuk banyak indeks toksisitas, persyaratan yang lebih ketat sebelum bahan kimia baru dirilis ke publik, dan evaluasi serta pemantauan efek toksik senyawa dalam sirkulasi dan penggunaan umum. Oleh karena itu, karena prosedur pengujian toksisitas menjadi lebih kompleks, ada kebutuhan untuk menyederhanakan tugas evaluasi toksikologi dari sejumlah besar bahan kimia. Untuk memenuhi kebutuhan ini, beberapa kriteria telah diusulkan dan digunakan untuk memprioritaskan bahan kimia untuk pengujian. Selain itu, 'sistem penilaian berlapis' memungkinkan keputusan dibuat pada berbagai tahap studi toksisitas, sehingga menghindari penyelidikan yang tidak perlu. Metode ini sangat berguna untuk pengujian karsinogenisitas, mutagenisitas, dan imunotoksitas. Hal ini disebabkan tingginya biaya yang terlibat dan banyaknya sistem pengujian yang tersedia. Dengan begitu banyak orang yang terpapar bahan kimia ini, sangat penting bagi kita untuk mencoba menemukan kontrol yang tepat sebelum bahaya yang signifikan terjadi, dan berusaha mengidentifikasi indikator dan indikasi yang dapat dibalik dari efek kesehatannya. Sebagai individu di tempat kerja dan sebagai komunitas yang terpapar, penting untuk menetapkan ketentuan keputusan pada waktu yang tepat untuk melindungi kesehatan masyarakat.

Keberhasilan di bidang ini telah terbukti membantu pengambil keputusan (pemerintah) yang bertanggung jawab melakukan pengawasan medis yang tepat terhadap pekerja atau masyarakat yang terpapar. Contoh penting termasuk penggunaan inhibitor kolinesterase sebagai indikator paparan pestisida organofosfat dan berbagai parameter biokimia untuk memantau paparan timbal. Indikator biologis, seperti spesies ikan tertentu, digunakan untuk memantau tingkat kontaminasi dalam limbah industri sebelum dinyatakan aman untuk dilepaskan ke lingkungan. Indikator biologis tersebut dimaksudkan untuk mengukur paparan atau efek racun dan untuk mengidentifikasi kelompok orang yang berisiko (Yulianto & Nurul, 2017).

Kemajuan dalam pengembangan biokimia dan toksikokinetik, genotoksikologi, imunotoksikologi, morfologi intraseluler, dan biologi molekuler telah berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang sifat, lokasi, dan mekanisme kerja berbagai racun. Misalnya, perkembangan bidang ilmu tersebut dapat memberikan berbagai metode uji toksikologi secara invitro, dimana target uji langsung pada tingkat sel, seperti uji senyawa yang mengakibatkan kerusakan sel hati "hepato toksik" dapat dilakukan langsung pada kultur sel hati, atau uji toksin yang mempunyai sifat sebagai karsinogen juga dapat dilakukan pada kultur sel normal, disini dilihat tingkat pertumbuhan sel dan perubahan DNA "asam dioksiribonukleat" yang dialami oleh sel akibat pejanan toksin uji. Banyak lagi metode uji invitro yang sangat bermanfaat dalam menunjang perkembangan ilmu toksikologi itu sendiri (Yulianto & Nurul, 2017).

Salah satu wujud bentuk perlindungan dalam kesehatan masyarakat, ahli toksikologi akan selalu dilibatkan dalam menentukan batas pajanan yang aman atau penilaian resiko dari pajanan. Batas pajanan yang aman mencakup "asupan (*intake*) harian yang diperbolehkan, dan "nilai ambang batas" dari toksin yang masih dapat ditolerir. Sedangkan penilaian resiko digunakan dalam hubungan dengan efek bahan yang diketahui tidak berambang batas atau ambang batasnya tak dapat ditentukan. Penentuan ini merupakan penelitian menyeluruh tentang sifat toksik, pembuktian dosis yang aman, penentuan hubungan dosis-

efek dan dosis-respon, serta penelitian toksokinetik, dan biotransformasi. Seperti disebutkan di atas, perluasan ruang lingkup toksikologi dan peningkatan jumlah sub-bidang mencirikan kemajuan terbaru dalam toksikologi (Yulianto & Nurul, 2017).

#### **1.4 Cakupan Bidang Ilmu Toksikologi**

Cakupan dari toksikologi sangat luas dan berkaitan dengan studi tentang efek toksik atau seringkali disebut toksisitas zat di berbagai bidang. Klasifikasi toksikologi menjadi empat bidang:

1. Cabang ilmu kedokteran, yang ditujukan untuk diagnosis, pencegahan dan pengobatan.
2. Sektor langsung atau tidak langsung dari industri makanan sebagai bahan tambahan.
3. Pertanian sebagai insektisida, pengatur tumbuh, bantuan penyerbukan, dan aditif pakan ternak.
4. Industri kimia sebagai pelarut, bahan dan intermediet untuk plastik dan banyak jenis bahan kimia lainnya. Industri kimia juga mempelajari efek kesehatan dari logam (seperti pertambangan dan peleburan), produk minyak bumi, kertas dan pulp, dan racun tanaman dan hewan beracun (Lu, 1995).

Toksikologi dibagi menjadi tiga kelompok utama berdasarkan kegunaannya, antara lain Toksikologi Lingkungan, Toksikologi Ekonomi, Toksikologi Forensik (Loomis, 1978).

Toksikologi lingkungan berfokus pada studi tentang racun di lingkungan (termasuk polusi), efek buruk dari penumpukan residu kimia di lingkungan, dan kesehatan lingkungan kerja. Toksikologi ekonomi menggambarkan kegunaan dan nilai ekonomi zat beracun. Toksikologi forensik berfokus pada penerapan toksikologi untuk kepentingan peradilan. Tugas utama toksikologi forensik adalah analisis kualitatif dan kuantitatif zat beracun sebagai bukti dalam proses pengadilan pidana. Selain tiga kelompok utama yang disebutkan di atas, ada sub-bidang toksikologi lainnya seperti toksikologi analitik, toksikologi klinis, toksikologi kerja, toksikologi hukum, dan mekanotoksikologi (Yulianto & Nurul, 2017).

Implementasi perawatan keracunan yang ditargetkan secara spesifik membutuhkan kolaborasi antara dokter dan ahli toksikologi klinis. Hasil analisis toksikologi dapat mengkonfirmasi

diagnosis klinis yang dapat digunakan sebagai dasar untuk pengobatan yang cepat dan tepat serta sebagai dasar untuk implementasi yang lebih tepat sasaran sehingga kegagalan pengobatan yang akan segera terjadi (kematian) dapat dihindari. Analisis toksikologi klinis dapat berupa analisis kualitatif atau kuantitatif.

Berdasarkan hasil analisis toksikologi secara kualitatif dapat disimpulkan bahwa kasus keracunan apakah benar diakibatkan oleh instoksikasi. Di sisi lain, informasi tentang tingkat toksisitas pasien dapat diperoleh dari hasil analisis toksikologi secara kuantitatif. Dalam hal ini, konsentrasi toksin dalam darah dan urin harus ditafsirkan secara lebih hati-hati. Menentukan tingkat toksisitas yang tepat pada pasien biasanya memerlukan analisis berulang toksin dalam darah dan urin. Berdasarkan perubahan konsentrasi dalam darah, akan didapatkan gambaran apakah toksisitas itu berada dalam fase paparan atau sudah dalam fase eliminasi. Keracunan dapat terjadi sebagai akibat dari paparan racun di tempat kerja dan hal ini dapat menyebabkan efek samping akut atau kronis. Efek toksik dari keselamatan kerja merupakan masalah dalam bidang toksikologi kerja dan toksikologi kerja merupakan cabang dari toksikologi lingkungan.

Toksikologi hukum melindungi masyarakat dari efek berbahaya racun dengan menetapkan undang-undang, peraturan, dan standar yang membatasi atau melarang penggunaan bahan kimia yang sangat beracun dan dengan menetapkan kondisi untuk penggunaan bahan kimia lain. Gambaran lengkap tentang efek toksik diperlukan untuk menetapkan peraturan dan standar yang sesuai. Profil tersebut hanya dapat ditentukan melalui berbagai jenis studi toksikologi yang relevan dan membentuk dasar toksikologi hukum.

## **1.5 Masa Depan Toksikologi**

Kemajuan pada bidang bioteknologi pertanian sudah terbukti memberikan berbagai kemajuan jika dibandingkan dengan pertanian bila dilakukan secara konvensional. Melalui rekayasa genetika pada tanaman pertanian telah terbukti diperoleh bibit unggul (yang dibandingkan dengan pertanian konvensional sangat

sedikit membutuhkan tanah) yang merupakan andalan dalam meningkatkan pasokan pangan manusia. Keamanan makanan semacam ini sangat membutuhkan evaluasi/kontrol keamanan yang memadai.

Berdampingan dengan bidang ilmu lain, toksikologi dapat menyediakan bahan kimia alternatif yang lebih aman untuk pertanian, industri, dan kebutuhan konsumen melalui penentuan hubungan struktur-toksisitas. Pengurangan sifat toksik dapat dicapai dengan mengubah toksisitas sasaran atau dengan mengubah sifat toksokinetik yang dimiliki. Toksikologi juga turut andil dalam pengembangan obat baru. Sudah menjadi syarat yang mutlak bahwa dalam pengembangan obat baru harus dibarengi baik uji toksisitas akut maupun toksisitas klinis dengan persyaratan uji yang ketat. Penilaian tentang keamanannya merupakan tantangan dan tanggung jawab para ahli di bidang toksikologi.

Imbauan kepada masyarakat untuk mengurangi penggunaan hewan percobaan, maka lebih sering digunakan organ terisolasi, jaringan biakan, sel, dan bentuk-bentuk kehidupan yang lebih rendah. Sistem seperti ini memiliki banyak sekali keuntungan, antara lain pengujian yang lebih cepat dan lebih murah, meningkatkan keragaman penelitian terutama yang berhubungan dengan mekanisme keracunan. Dengan meningkatnya tuntutan seperti ini maka akan mendorong upaya perbaikan dalam prosedur pengujian yang lebih sederhana dan handal, seperti misal pengujian karsinogen “uji kanker”, uji mutagenesis, menggunakan “petanda biologik” (biomarker) yaitu kultur sel kanker.

Meningkatnya kebutuhan uji toksikologi dibarengi dengan tantangan keterbatasan dalam fasilitas dan sumber daya manusia yang memenuhi syarat. Data toksisitas yang dihasilkan di manapun sebaiknya dapat diterima secara global. Agar data-data tersebut dapat diterima secara global, maka data tersebut harus memenuhi standar yang ditetapkan dalam pelaksanaannya. Lembaga terkemuka di dunia mengeluarkan standar seperti yang dikeluarkan oleh Lembaga Pengawas Obat dan Makanan Amerika (FDA) yaitu “*Good Laboratory Practice*”, dimana standar ini dapat diterima secara internasional.



Ahli toksikologi diharapkan dapat terus meningkatkan prosedur uji untuk mereduksi hasil uji palsu, dan terus melakukan penelitian yang dimaksudkan untuk meningkatkan pemahaman yang lebih baik akan pentingnya efek toksik agar penilaian keamanan/resiko berbagai toksin dapat dilakukan dengan hasil lebih memuaskan (Yulianto & Nurul, 2017).

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariens, E. J., Mutschler, E. & Simonis, A. M., 1986. *Toksikologi Umum Pengantar*.
- Ling, L. J., 2000. *Toxicology Secrets*. Philadelphia: Hanley & Belfus, Inc..
- Loomis, T. A., 1978. *Toksikologi Dasar*. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Lu, F. C., 1995. *Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko*. Jakarta: UI Press.
- Yulianto, Y. & Nurul, A., 2017. *Toksikologi Lingkungan*.



# BAB 2

## KONSEP DASAR RACUN

*Oleh Wiwiek Mulyani*

### 2.1 Pengertian Racun

Racun adalah zat apa pun baik alami atau buatan, yang berbahaya atau mematikan bagi sel hidup, bahkan dalam jumlah kecil. Dalam biologi, racun adalah zat yang menyebabkan kematian, cedera atau kerusakan pada organ, biasanya oleh reaksi kimia atau aktivitas lain pada skala molekuler, ketika organisme terpapar dalam jumlah yang cukup.

Dalam bidang kedokteran (terutama kedokteran hewan) dan zoologi sering membedakan racun dari toksin dan dari bisa. Toksin sering dianggap sebagai jenis racun tertentu. Artinya zat beracun yang diproduksi di dalam sel atau organisme hidup.

Beberapa ilmuwan, mendefinisikan toksin merujuk pada racun sebagaimana mereka meracuni dan menyebut racun yang memiliki sumber hidup 'biotoxins' atau 'racun alami'. Toksin adalah racun yang disuntikkan melalui gigitan (misalnya, dari laba-laba) atau sengatan (misalnya, dari tawon) untuk menimbulkan efeknya.

### 2.2 Pengertian Racun Menurut Para Ahli

Adapun definisi racun menurut para ahli, antara lain:

- a. Nelwan (2010), Racun/toksin berasal dari kata "*toxon*" yang berarti racun atau efek yang merugikan dari suatu zat.
- b. E.J. Ariens, E. Mutschler, A.M. Simonis (1994), Racun adalah sebagai suatu senyawa kimia yang dapat merugikan organisme sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan yang memberikan efek toksik atau dapat merugikan manusia.

### 2.3 Klasifikasi Racun

Racun diklasifikasikan menurut aksinya sebagai berikut:

- a. Racun Korosif: racun ini adalah agen pengiritasi yang sangat aktif yang menghasilkan peradangan dan ulserasi jaringan.

Kelompok ini terdiri dari asam kuat dan basa.

- b. Racun Iritan : racun ini menghasilkan gejala sakit di perut, muntah
  - 1) Racun Anorganik
    - Logam : arsen, merkuri, timbal, tembaga dan antimon
    - Non logam : fosfor, klorin, bromin, dan iodin
  - 2) Racun organik
    - Tumbuh-tumbuhan : minyak jarak
    - Hewan : ular, kalajengking, laba-laba
  - 3) Racun mekanik : bubuk kaca, debu berlian
- c. Racun Saraf

Racun ini beraksi di sistem saraf pusat. Gejala yang ditimbulkan biasanya sakit kepala, ngantuk, pusing, delirium, stupor, koma, dan kejang.

  - 1) Racun serebral: opium, alkohol, agen sedatif, agen hipnotik, anestetik.
  - 2) Racun spinal: *Strychnine*.
  - 3) Periferal: *Curare*.
- d. Racun jantung : Digitalis, rokok.
- e. *Asphyxiants*: Gas batubara, CO, CO<sub>2</sub>, *war gasses*.
- f. Lain-lain : Analgesik, antipiretik, penenang, antidepresan

## 2.4 Penggolongan Racun

- a. Menurut cara terjadinya
  - 1. Meracuni diri (*Self poisoning*). Penderita berusaha bunuh diri dengan tujuan menarik perhatian saja. Penderita biasanya menelan racun dalam dosis besar untuk membahayakan dirinya. Contohnya adalah keracunan baygon.
  - 2. Usaha bunuh diri (*attempted suicide*). Dalam hal ini penderita ingin benar-benar bunuh diri dan dapat berakhir dengan kematian.
  - 3. Keracunan akibat kecelakaan (*accidental poisoning*). Keracunan ini terjadi benar-benar karena kecelakaan dan tidak ada unsur kesengajaan.
  - 4. Keracunan akibat pembunuhan (*homicidal poisoning*).

Terjadi akibat tindakan criminal yaitu diracuni pasien.

5. Keracunan akibat ketergantungan obat. Keracunan terjadi akibat sifat toleransi obat sehingga memerlukan peningkatan dosis. Peningkatan dosis yang tidak terukur/ tidak terkendali menimbulkan overdosis yang fatal.

b. Menurut cepat lambatnya proses keracunan

1. Keracunan akut

Gejala keracunan muncul dengan cepat segera setelah korban menelan atau kontak dengan zat racun misalnya keracunan makanan, sianida dan insektisida.

2. Keracunan kronik

Gejala muncul dalam waktu relatif lama sehingga korban sering tidak sadar mengalami keracunan. Keracunan kronis yang sering terjadi antara lain keracunan bromid, salisilat, fenitoin dan digitalis karena tidak diawasi.

b. Menurut organ yang terkena

Keracunan dapat dibedakan menurut organ yang terkenan yaitu neurotoksik (racun saraf), kardiotoxik (racun pada jantung), nefrotoksik dan hepatotoksik. Satu zat racun dapat mempengaruhi beberapa organ sekaligus misalnya  $CCl_4$  mempengaruhi hepar, ginjal dan jantung.

Racun dapat diklasifikasikan menurut lokasi tubuh di mana efeknya paling menonjol, yaitu:

1. Hemotoksin (misalnya, ditemukan pada beberapa ular) menghancurkan sel darah merah dan menyebabkan kerusakan jaringan secara umum.

2. Fototoksin (misalnya, alfa-tertienil yang ditemukan pada tanaman marigold) menyebabkan reaksi alergi pada individu yang rentan.

3. Nekrotoksin (misalnya, necrotising fasciitis – bakteri pemakan daging) menghancurkan sel yang mereka hadapi dan menyebabkan kerusakan jaringan secara umum. Laba-laba pasir Afrika Selatan menggunakan racun nekrotik.

4. Neurotoksin (misalnya, tetradotoksin yang ditemukan pada ikan buntal dan beberapa siput laut insang abu-abu)

memengaruhi sistem saraf organisme. Laba-laba janda hitam menggunakan neurotoksin.

c. Bahan kimia

Zat kimia dalam golongan sejenis biasanya menimbulkan gejala keracunan yang sama seperti keracunan alkohol, logam berat, fenol dan organofosfat.

## 2.5 Mekanisme terjadinya keracunan

Absorpsi racun ditandai oleh masuknya racun dari tempat paparan menuju sirkulasi sistemik tubuh atau pembuluh limfe. Absorpsi didefinisikan sebagai jumlah racun yang mencapai sistem sirkulasi sistemik dalam bentuk tidak berubah. Racun dapat terabsorpsi umumnya apabila berada dalam bentuk terlarut atau terdispersi molekular. Jalur utama absorpsi racun adalah saluran cerna, paru-paru dan kulit. Setelah racun mencapai sistemik, ia bersama darah akan diedarkan ke seluruh tubuh. Dari sistem sirkulasi sistemik ia akan terdistribusi lebih jauh melewati membran sel menuju sistem organ atau ke jaringan-jaringan tubuh. Selanjutnya racun akan mengalami reaksi biotransformasi (metabolisme) dan ekskresi racun melalui ginjal, empedu, saluran pencernaan, dan jalur ekskresi lainnya (kelenjar keringat, kelenjar mammae, kelenjar ludah, dan paru-paru). Jalur eliminasi yang paling penting adalah eliminasi melalui hati (reaksi metabolisme) dan ekskresi melalui ginjal.

## 2.6 Efek racun terhadap tubuh

a. Lokal

Efek lokal terbatas pada beberapa bagian tubuh yang kontak dengan zat kimia yaitu kulit, mata, jalur udara, dan usus. Contoh efek racun lokal yakni kulit terbakar, mata berair dan iritasi pada tenggorokan yang menyebabkan batuk. Banyak racun yang menyebabkan efek lokal namun ada juga yang tidak.

1) Kulit

Bahan-bahan kimia yang membahayakan kulit menyebabkan kulit memerah, sakit ketika kulit disentuh, tapi tidak menyebabkan rasa terbakar ketika sudah dicuci.

Agen korosif dapat dengan cepat menyebabkan rasa sakit dan terbakar dan membahayakan kulit. Mungkin ada rasa melepuh dan kulit berubah warna menjadi abu-abu-putih atau coklat.

2) Mata

Agen pengiritasi atau agen korosif dapat menyebabkan sakit yang parah ketika terpapar di mata. Mereka dapat dengan cepat membakar permukaan mata dan menyebabkan bekas luka bahkan kebutaan. Mata akan terlihat merah dan berair. Pasien yang terkena racun mungkin tidak ingin membuka matanya dan cahaya akan menyebabkan rasa sakit di mata.

3) Usus

Bahan kimia beracun dapat membahayakan mulut dan tenggorokan atau usus. Pasien mungkin merasakan sakit perut, muntah dan diare serta muntah dan fesesnya mungkin mengandung darah. Jika tenggorokan terbakar maka dengan cepat membengkak dan menyebabkan pasien sulit bernafas.

4) Saluran Udara dan Paru-paru

Beberapa gas dan uap dapat mengiritasi hidung, tenggorokan dan saluran udara bagian atas dan menyebabkan batuk dan terjadi dengan cepat ketika pasien menghirup zat racun atau ketika setelah 48 jam. Cairan dalam paru-paru menyebabkan pasien tidak dapat bernafas dengan benar dan harus segera dibawa ke rumah sakit karena memiliki edema. Beberapa gas beracun seperti karbon monoksida tidak memiliki efek pada hidung dan tenggorokan. Gas beracun yang tidak menyebabkan batuk dan tersedak sangat berbahaya karena pasien tidak tahu ketika sudah menghirup zat tersebut. Ketika saluran udara pasien tidak menutup, makanan, minuman atau muntah dapat masuk ke paru-paru dan menghalangi saluran udara atau menyebabkan edema paru. Itulah mengapa sangat berbahaya untuk memberikan makanan, minuman atau obat-obatan untuk pasien yang sadar.

5) Lokasi Injeksi



Racun yang mengiritasi yang disuntikkan ke dalam kulit, seperti racun dari sengatan serangga dan gigitan ular, dapat menyebabkan rasa sakit dan bengkak di tempat mereka disuntikkan. Pasien-pasien yang sengaja menyuntikkan diri dengan produk hewan mungkin mendapatkan efek lokal.

b. Sistemik

Ada banyak cara di mana racun dapat menyebabkan kerusakan:

- 1) Dengan merusak organ-organ seperti otak, saraf, jantung, hati, paru-paru, ginjal atau kulit. Kebanyakan racun memiliki efek lebih besar pada satu atau dua organ dari pada bagian lain tubuh. Organ yang paling terpengaruh disebut organ sasaran.
- 2) Dengan memblokir pesan antara saraf.
- 3) Dengan menghentikan tubuh bekerja dengan baik misalnya, dengan memblokir pasokan energi atau suplai oksigen.

Efek sistemik hanya terjadi ketika jumlah racun dalam tubuh lebih besar dari jumlah yang dapat tubuh tangani. Biasanya bila kontak dengan racun berlangsung hanya dalam waktu singkat (akut), efek terjadi segera setelah terpapar dan tidak berlangsung lama. Namun dalam beberapa kasus, efek racun yang tidak terlihat selama beberapa jam atau bahkan hari setelah akut. Ketika paparan racun berlangsung untuk waktu yang lama (kronis), efek dapat berlangsung untuk waktu yang lama.

c. Efek racun terhadap bayi dalam rahim

Beberapa racun dapat membahayakan bayi dalam rahim. Hal ini kemungkinan besar selama tiga bulan pertama kehamilan ketika sistem saraf dan semua organ utama mulai terbentuk. Bagian-bagian tubuh dari bayi biasanya terkena adalah tulang, mata, telinga, mulut dan otak. Jika kerusakan sangat buruk, bayi akan berhenti tumbuh dan mati. Beberapa bahan kimia beracun dapat membahayakan bayi dalam kandungan tanpa merugikan ibu. Jika ibu minum alkohol atau merokok selama kehamilan dapat membahayakan bayinya. Obat-obatan juga dapat membahayakan bayi dalam kandungan. Wanita hamil tidak harus meminum obat-obatan kecuali yang diresepkan oleh dokter.

d. Ciri Racun

Ciri orang yang sedang terkena racun adalah sebagai berikut:

a) Mual dan muntah

Mual dan muntah terjadi karena adanya infeksi di dalam perut yang berasal dari makanan yang telah terkontaminasi oleh makanan yang mengandung racun baik saat produksi atau proses memasaknya.

b) Diare

Diare terjadi karena terganggunya fungsi usus dalam menyerap makanan dan air yang kemudian keluar berubah feses yang berair.

c) Demam

Demam terjadi sebagai efek perlawanan sistem kekebalan tubuh dalam melawan infeksi atau gangguan yang membahayakan tubuh lainnya.

e. Jenis Racun

Racun dapat diklasifikasikan sebagai eksotoksin (yang dikeluarkan oleh organisme, misalnya bufotoksin) atau endotoksin (yang secara struktural merupakan bagian dari bakteri, misalnya botulinum).

Racun menyebabkan kerusakan pada organisme ketika senyawa toksik bersentuhan atau diserap oleh jaringan tubuh. Senyawa ini berinteraksi dengan bagian tubuh. Racun sangat bervariasi dalam tingkat keparahan pengaruhnya, mulai dari ringan tapi akut (sengatan lebah) hingga hampir mematikan (botulinum).

f. Bahaya Racun

Racun yang memasuki rantai makanan baik yang berasal dari industri, pertanian, atau alam mungkin tidak langsung menjadi racun bagi organisme pertama yang mencerna toksin, tetapi dapat menjadi lebih terkonsentrasi pada organisme pemangsa di bagian atas rantai makanan, terutama karnivora dan omnivora.

Racun yang larut dalam lemak yang cenderung disimpan dalam jaringan biologis daripada dibuang dalam urin atau feses. Selain makanan, banyak racun yang mudah masuk ke tubuh melalui kulit

dan paru-paru. Asam hidrofluorat adalah racun kontak yang terkenal jahat, selain merusakkan korosifnya.

Gas asam yang terjadi secara alami adalah racun atmosfer yang bekerja cepat dan terkenal (seperti yang dilepaskan oleh aktivitas vulkanik atau rig pengeboran). Racun juga bisa masuk ke dalam tubuh melalui implan medis yang salah, atau melalui suntikan (yang merupakan dasar dari suntikan mematikan dalam konteks hukuman mati).

Racun merupakan zat yang sangat berbahaya Bahkan keracunan terus menjadi salah satu penyebab utama cedera dan kematian di Amerika Serikat. Meskipun jumlah kematian terkait keracunan yang dilaporkan di AS telah menurun drastis dari beberapa ratus per tahun menjadi kurang dari 50 per tahun, keracunan non-fatal masih menjadi masalah yang signifikan. Diperkirakan lebih dari 150.000 pria, wanita dan anak-anak diracuni setiap tahun di Georgia.

g. Contoh Racun

Adapun untuk contoh zat yang termasuk dalam kategori beracun, diantaranya yaitu:

a) Natrium Sianida

Sianida termasuk dalam kategori racun karena mengandung zat kimia yang bukan berasal dari sel organisme yang memiliki kadar bahaya yang tinggi. Zat tersebut dapat berupa gas, serbuk, maupun Kristal. Baunya sangat mudah dideteksi dan ada bau yang terkesan pahit, dan sangat beracun bagi manusia. Meski ada risiko dengan penyerapan kulit, risiko terbesarnya adalah konsumsi. Menghirup atau menelan natrium sianida menghalangi pengangkutan oksigen yang menyebabkan kematian karena kehabisan oksigen.

b) Digoxin

Digoxin merupakan toksin yang ditemukan pada tumbuhan bunga foxglove yang banyak dijumpai di Inggris dan beberapa negara Eropa lainnya. Jenis racun ini termasuk dalam racun yang paling mematikan karena zat digoxin yang terserap dalam tubuh bekerja secara cepat dan mengalir ke aliran darah kemudian berheni di jantung.

Efek yang ditimbulkan dari proses tersebut adalah korban mengalami gangguan seperti sakit perut, sakit kepala, mual, muntah, bahkan berhalusansi. Ketika zat digoxin mengendap di jantung maka akan menyebabkan penurunan dan pelambatan fungsi jantung dan kemudian berujung pada berhenti totalnya aktivitas jantung.

c) Botolium

Senyawa paling beracun adalah toksin botulinum. Ini satu juta kali lebih mematikan daripada senyawa yang diproduksi paling mematikan. Satu sendok teh botulinum dapat membunuh seperempat populasi dunia! Botulinum adalah senyawa yang digunakan dalam Botox yaitu metode populer untuk mengurangi kerutan pada kulit.

Racun tersebut memblokir impuls saraf dan untuk sementara waktu melumpuhkan otot yang menyebabkan keriput, membuat kulit tampak lebih halus. Botulinum juga digunakan untuk prosedur medis seperti pengobatan kejang otot.

d) Arsenix

Arsenix merupakan zat yang digunakan untuk pembuatan obat-obatan untuk penyakit kulit. Apabila digunakan secara berlebihan atau tidak sesuai dosis maka akan menyebabkan mual, kejang dan pusing bahkan menyebabkan kematian.

e) Tetrodotoxin

Tetrodotoxin adalah neurotoxin yang paling banyak ditemukan pada hewan laut. Hal ini terkenal menyebabkan mati rasa perioral pada konsumen ikan buntal, yang dikenal di Jepang sebagai fugu. Racunnya tahan panas, artinya memasak tidak menghancurkan toksin.

Ada 26 analog yang terjadi secara alami. Toksin memblokir saluran natrium yang menyebabkan gejala gastrointestinal, neurologis, dan jantung pada pasien yang keracunan. Sayangnya, hingga saat ini belum ada penawar yang diketahui.

f) Pestisida

Pestisida merupakan salah satu kelompok zat yang tujuan utamanya meracuni berbagai serangga dan hewan lain yang dianggap sebagai hama (misalnya tikus dan kecoa). Pestisida

alami telah digunakan untuk tujuan ini selama ribuan tahun (misalnya garam meja pekat beracun bagi banyak siput).

Bioakumulasi insektisida pertanian yang dibuat secara kimiawi menjadi perhatian banyak spesies, terutama burung, yang mengkonsumsi serangga sebagai sumber makanan utama. Toksisitas selektif, aplikasi terkontrol, dan biodegradasi terkontrol merupakan tantangan utama dalam pengembangan herbisida dan pestisida dan dalam teknik kimia secara umum.

Hal itu disebabkan karena semua makhluk hidup di bumi berbagi biokimia yang mendasarinya; organisme yang luar biasa dalam ketahanan lingkungannya diklasifikasikan sebagai ekstremofil, ini untuk sebagian besar menunjukkan kerentanan yang sangat berbeda.

#### h. Zat Beracun dalam Kimia

Zat-zat kimia yang paling mematikan (bagi manusia) diantaranya yaitu:

- a) Botulinum toksin A (dari bakteri *Clostridium botulinum*)
- b) Toksin tetanus A (dari bakteri-*Clostridium tetani*)
- c) Difteri (dari bakteri-*Corynebacterium diphtheriae*)
- d) Dioksin (diproduksi)
- e) Muscarine (dari jamur-*Amanita muscaria*)
- f) Bufotoxin (dari katak biasa-genus *Bufo*)
- g) Sarin (diproduksi)

## DAFTAR PUSTAKA

- Chadha IA, 2003, *Poisoning*, Indian Journal of Anaesthetics, 402-411.
- Dantje TS. 2015. *Toksikologi Lingkungan*, Yogyakarta, Penerbit Andi.
- Mukono. 2010. *Toksikologi Lingkungan*, Airlangga Univesity Press, Surabaya.
- Sembel DT. 2015. *Toksikologi Lingkungan*, Yogyakarta, CV. Andi Offset
- Sutamihardja, 2006, *Toksikologi Lingkungan*, Buku Ajar Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, Jakarta, 56-62.
- Soemirat Juli. 2009. *Toksikologi Lingkungan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Wirasuta dan Niruri. 2006. *Toksikologi Umum*, Bandung, Universitas Udayana.
- Yulianto & Amaloyah. 2017. *Toksikologi Lingkungan*, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta, 46-48.



# BAB 3

## SISTEM PERTAHANAN PADA MANUSIA

*Oleh Dyah Susilowati Pradnya Paramita*

### 3.1 Pendahuluan

Manusia memiliki cara adaptatif terhadap kebutuhan ruang, guna memperoleh keseimbangan antara kebutuhan tubuh secara fisik dan non fisik. Sehingga segala eksistensi fasilitas dan aktivitas terkait, mampu meminimalkan dampak negatif terhadap sekitar. Dalam lingkup arsitektur, sistem pertahanan tersebut merupakan salah satu pertimbangan dalam proses konsep desain, yang bersinergi dengan lingkungan terbangun (desain). Faktor pra dan pasca pembangunan, harus mampu memperbaiki lingkungan yang rusak dan membuat lingkungan stabil atau menjadi lebih stabil dari keadaan semula (NO.28, UU, 2022).

Berkaitan dengan respon tubuh terhadap bangunan yang dihuni, sering disertai dengan kemunculan gangguan fisik pada pengguna bangunan. Hal tersebut ternyata termasuk dalam *Sick Building Syndrome/SBS* (Anies, 2022), yaitu sekumpulan gejala yang dialami oleh penghuni gedung, yang dihubungkan dengan waktu yang dihabiskan dalam gedung tersebut, tetapi tidak terdapat penyakit/penyebab khusus yang dapat diidentifikasi. Juga ditemukan akibat lain berupa gangguan pd kulit, kelelahan, peka terhadap bau yg tidak sedap & sulit berkonsentrasi (Burge *et all.*1987 dalam Anies,dr 2022).

### 3.2 Pertahanan Manusia

Pertahanan manusia terbagi atas 2 hal, yaitu komunal dan individual. Secara komunal, diawali dengan pengukuran kepekaan antisipasif secara fisik dan non fisik, yang terkait dengan durasi aktivitas komunal. Sedangkan individual, diantisipasi melalui aksi dan reaksi tubuh dalam lingkungan tertentu.

Di samping itu, terdapat juga tentang *Electrical Sensitivity (ES)* yaitu gangguan fisiologis dengan tanda dan gejala neurologis



maupun kepekaan berupa berbagai gejala dan keluhan (Anies,dr.2022). Gangguan tersebut berupa 7 gejala gangguan kesehatan, pada :

1. Sistem Darah
2. Sistem Reproduksi
3. Sistem Saraf
4. Sistem Kardiovaskular
5. Sistem Endokrin
6. Psikologis
7. Hipersensitifitas

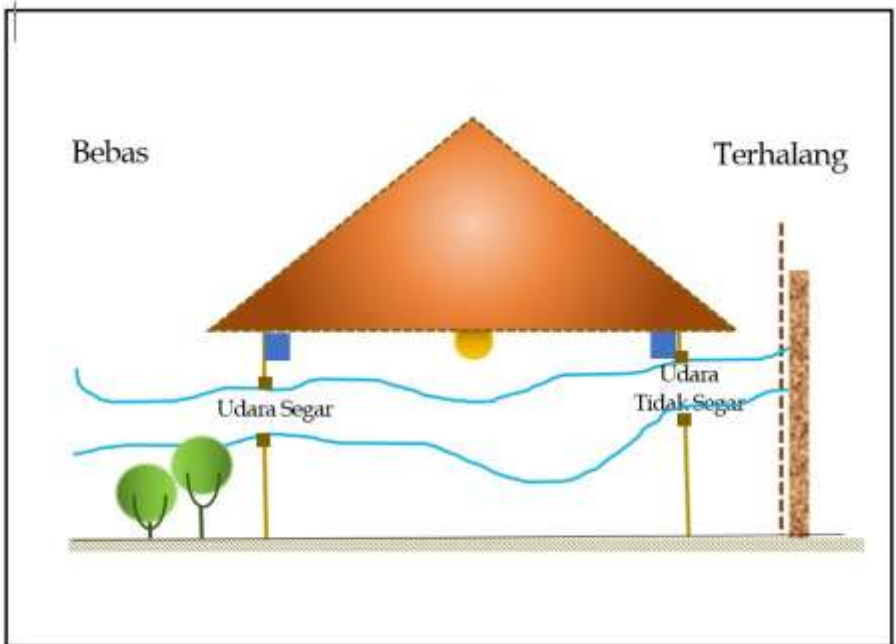
Di samping itu, juga banyak zat polutan sebagai salah satu penyakit lingkungan yaitu polutan dr gas CO dr kendaraan, industri dan aktivitas lain.

Sedangkan untuk gangguan fisiologis yang bersifat *Non Electrical Sensitifty /NES* (Anies, dr. 2022), berupa fluktuasi perubahan cuaca, curah hujan yang acak, bencana alam non prediksi dan sebagainya. Gangguan tersebut menjadi dasarantisipasi dan toleransi dalam proses perancangan arsitektur. Dengan demikian, segala yang berkaitan antara kestabilan tubuh, ruang hidup dan lingkungan, selalu menjadi bagian utama dalam desain arsitektur.

### **3.2.1 Jarak antar Bangunan**

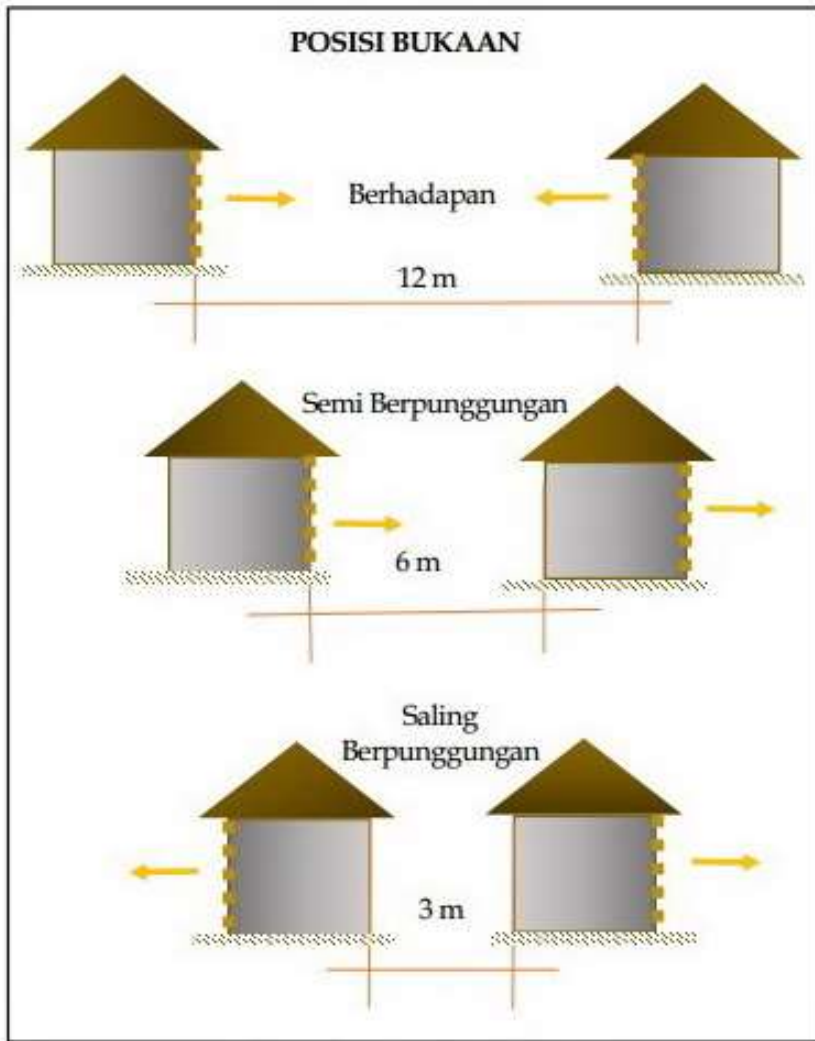
Dalam area bangunan, jarak antar bangunan, sirkulasi udara dan cahaya matahari, selalu menjadi ketentuan teknis yang dipersyaratkan. Hal tersebut akan membentuk sirkulasi udara dan persebaran cahaya matahari yang seimbang dan sehat, mulai dari pagi sampai dengan sore hari (energi alami). Sedangkan pada malam hari, lebih didominasi oleh energi buatan. Sehingga akan mengkondisikan bangunan dan lingkungan secara stabil dalam memanfaatkan potensi alam.

Hal tersebut diperjelas dalam gambar berikut :



**Gambar 3.1 :** Sirkulasi Udara yang Terhalang

Sedangkan untukantisipasi dan menghindari terkontaminasi polutan yang berasal dari dalam dan luar bangunan, juga diatur dalam penerapan jarak antar bangunan, sebagai berikut :



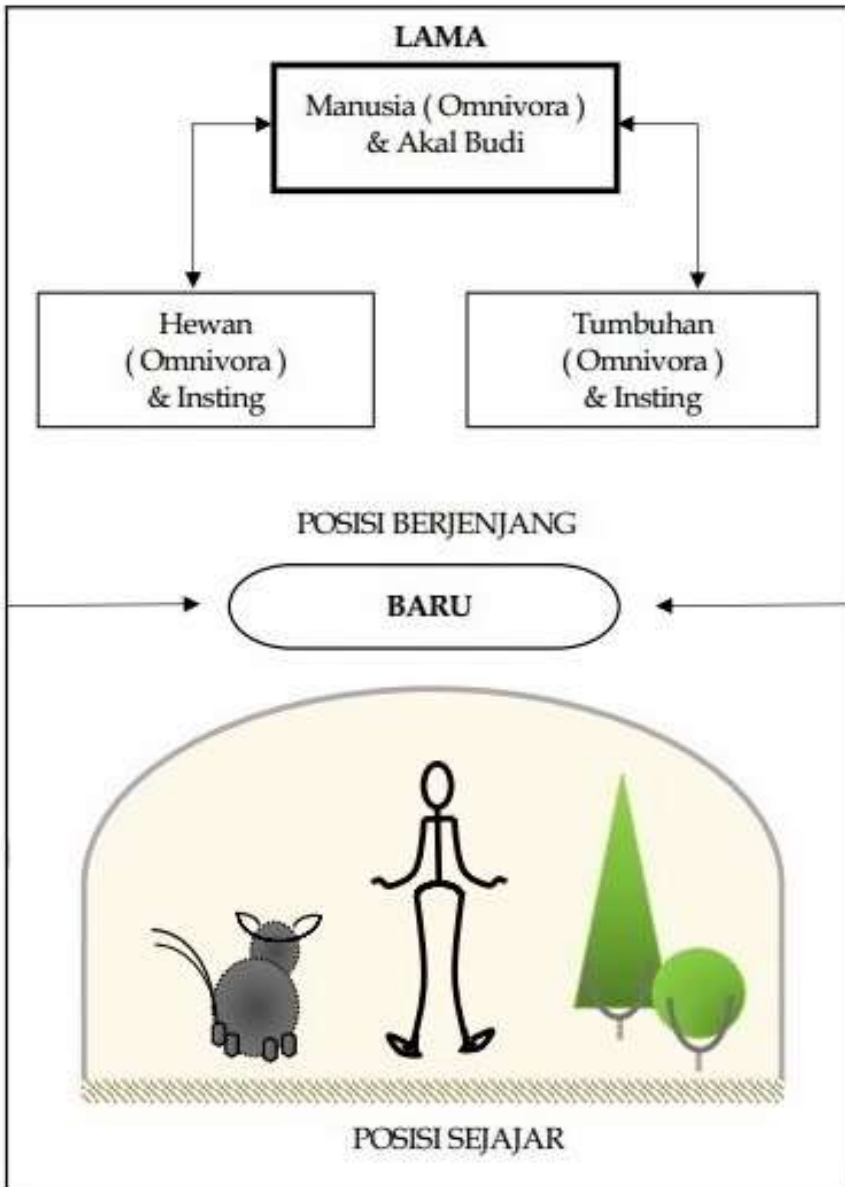
**Gambar 3.2 : Jarak Antar Bangunan Ideal**  
 (Sabaruddin, 2013) Redraw : Dyah, 2022

### 3.2.2 Degradasi Gender

Keberadaan manusia dalam ekosistem, lebih cenderung mengakibatkan degradasi lingkungan, karena pemanfaatan eksploitasi ekstrem dan mengubah ekosistem. Dalam proses tersebut, pemenuhan kebutuhan hidup menjadi prioritas utama, tanpa disertai pelestarian lingkungan. Disamping itu, juga menimbulkan limbah yang menjadi polutan lingkungan.

Pengelolaan kualitas lingkungan, seharusnya menjadi kesadaran dan tanggung jawab manusia. Karena hewan dan tumbuhan sebagai 2 makhluk hidup yang lain justru menjadi korban perusakan lingkungan. Adapun yang diharapkan akan menjadi subyek penggerak dan mengawali upaya tersebut adalah gender perempuan, yang dianggap lebih empati dengan lingkungan. Gerakan tersebut diistilahkan sebagai *Ekofeminisme*, yang merupakan cabang dari feminisme serta menekankan pada lingkungan dan hubungan antara perempuan dan bumi sebagai dasar analisis dan praktis (Prancis, Françoise d'Eaubonne dalam bukunya yang berjudul "Le Féminisme ou la Mort" ) Konsep tersebut menjelaskan tentang perempuan bukan sebagai properti dalam sistem patriarki (Rahman, 2022).

Upaya sosialisasi dan pendampingan tersebut dilakukan secara periodik, dengan mengeksplorasi sebab dan akibat perilaku manusia dalam seluruh rentang usia dan gender terhadap lingkungan, dalam wilayah komersial dan non komersial. Juga mereposisi keterkaitan antara manusia, hewan dan tumbuhan dalam perspektif pemikiran yang baru. Melalui sarana tersebut , diharapkan mampu membangun kesadaran masyarakat dan memulai dari empati pribadi. Hal tersebut disampaikan dalam bagan berikut :



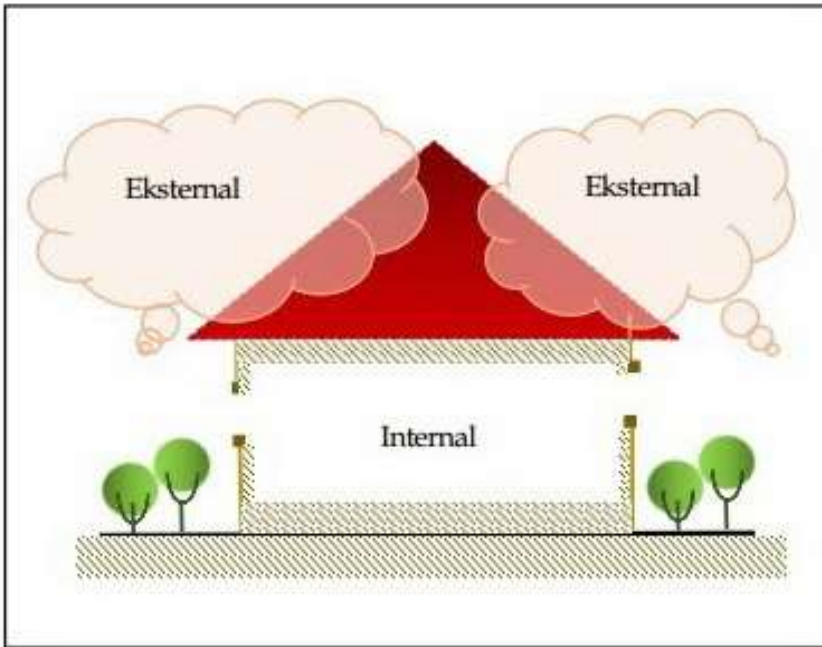
**Gambar 3.3 :** Hirarki Makhluk Hidup

### **3.2.3 Humiditas Lingkungan**

Kelembaban dalam lingkup bangunan, juga menjadi faktor penentu kesehatan penghuni. Oleh karena itu, standart kestabilan kondisi kelembaban memerlukan parameter tertentu, untuk mengkondisikan kesehatan lingkungan. Seperti yang dijelaskan dalam Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 829/Menkes/SK/VII/1999, tentang Kualitas Udara dalam Rumah tidak melebihi ketentuan sebagai berikut :

1. Suhu udara standart kebutuhan tubuh 18°C - 30°C
2. Humiditas udara 40°C - 70°C
3. Gas SO<sub>2</sub> maksimal 0,10 ppm/24 jam
4. Sirkulasi udara sekitar 5 kaki cubic/menit /penghuni
5. Gas CO maksimal 100 ppm/8 jam
6. Gas formaldehid maksimal 120 mg/m<sup>3</sup>

Berdasarkan ketentuan diatas, maka kemudian diperluas menjadi standart kesehatan bangunan yang terukur dalam lingkup eksternal dan internal bangunan. Karena karakteristik susunan tanah yang digunakan sebagai tapak bangunan berbeda beda serta kualitas tanah menjadi faktor utama penyebab kelembaban. Keberadaan sumber mata air atau sungai bawah tanah, juga akibat gempa tektonik sering kali terdeteksi, pasca pembangunan. Maka antisipasi dan pengkondisian bangunan, bisa dilakukan melalui pemilihan material bangunan terutama untuk lantai bangunan dan pengaturan vegetasi. Hal tersebut dijelaskan dalam bagan berikut :

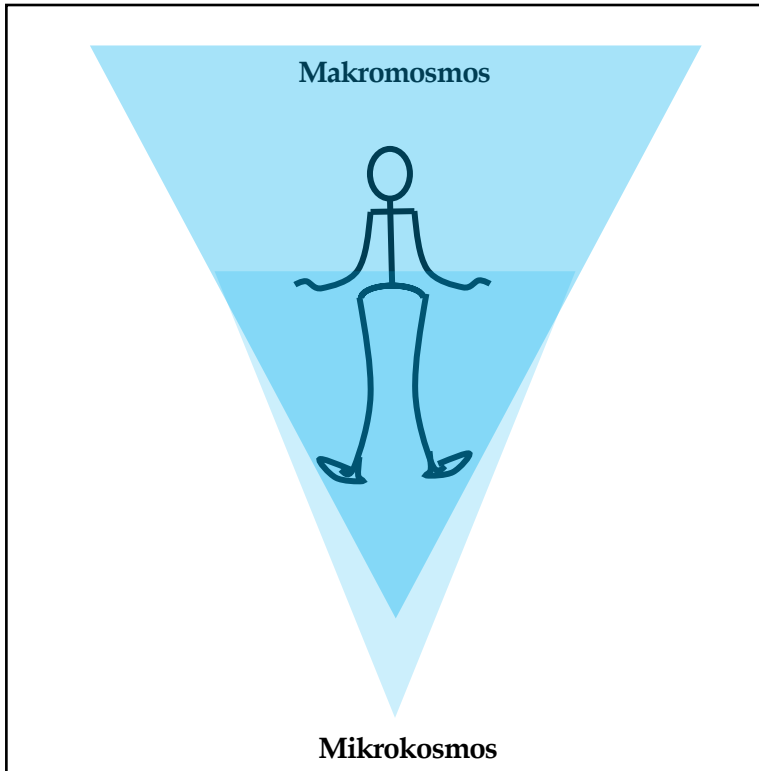


**Gambar 3.4 :** Solusi Humiditas Lingkungan

### 3.2.4 Adat istiadat

Masyarakat adat era pra teknologi, memposisikan alam sumber dari kehidupan. Sehingga upaya pelestarian dan perawatan, dilakukan secara otomatis dalam ritme hidup keseharian. Bahkan juga berkembang religi kuno yang menekankan tentang pemahaman kekuasaan alam terhadap manusia, berupa Animisme dan Dinamisme. Namun dalam rentang proses kehidupan yang mengarah pada perkembangan teknologi (cara manual berubah menjadi mesin dan digital), akhirnya mengubah pola pemikiran manusia. Alam yang semula dipandang sebagai sumber kehidupan, menjadi potensi kehidupan yang berdampak pada upaya eksploitasi dan eksplorasi secara brutal. Sehingga hal tersebut mengakibatkan degradasi kualitas lingkungan dalam jangka panjang. Hal tersebut seperti penjelasan berikut bahwa *masyarakat adat dan komunitas lokal (the indigenous peoples and local communities/ IPLCs) – pemegang pengetahuan tradisional, gaya hidup berkelanjutan dan kosmologi alternatif – terlibat sepenuhnya, bukan sebagai kelompok yang lemah dan rentan, tetapi*

sebagai pemain kunci dan agen kuat dari mengubah. (PSLH\_UGM,2022). Maka upaya eksploitasi dan eksplorasi perlu dibatasi, dikendalikan dan dikontrol melalui upaya *renewable* dan *sustainable*. Hal tersebut dijelaskan melalui bagan berikut :



**Gambar 3.5 :** Keseimbangan Makrokosmos dan Mikrokosmos

### **3.2.5 Ergonomi Tubuh**

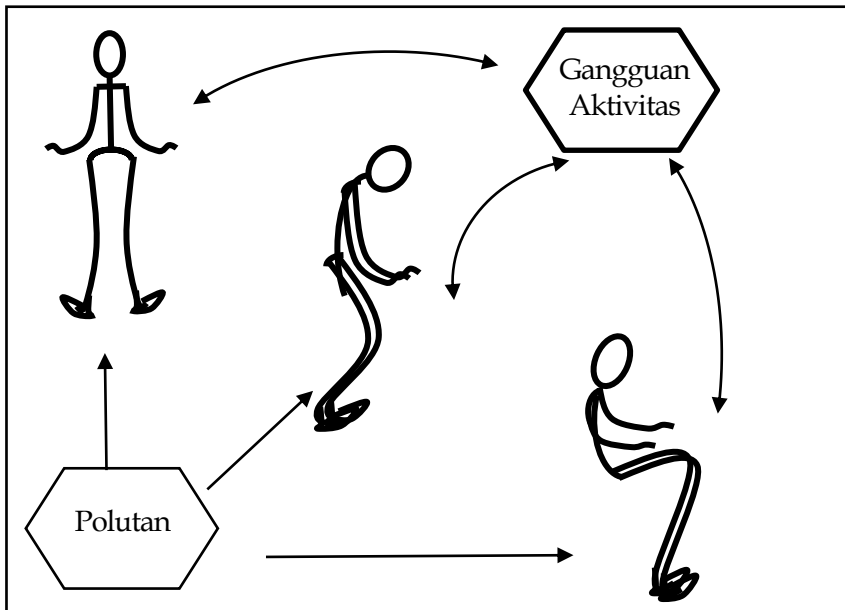
Efektifitas dan efisiensi kinerja selalu berkaitan dengan ruang dan lingkungan tertentu. Dalam perencanaan dan perancangan ruang, selalu berupaya meminimalkan pengaruh negatif dari dan dalam lingkungan terhadap tubuh manusia. Memanfaatkan potensi alam pun menjadi dasar penentuan arah hadap bangunan, posisi dan jumlah bukaan dan sebagainya. Namun kondisi yang mendekati ideal memang selalu memerlukan kontrol dan evaluasi. Ternyata ditemukan pula faktor polutan (fisik dan non fisik) yang mempengaruhi periode kinerja. Misal :



pencemaran udara berupa gas buangan industri, kendaraan, pembakaran sampah. Sedangkan air tercemar karena limbah industri, proses pembersihan sumber air. Beberapa kondisi tersebut, bisa menyebabkan gangguan kesehatan tubuh berupa ( Prodia ) :

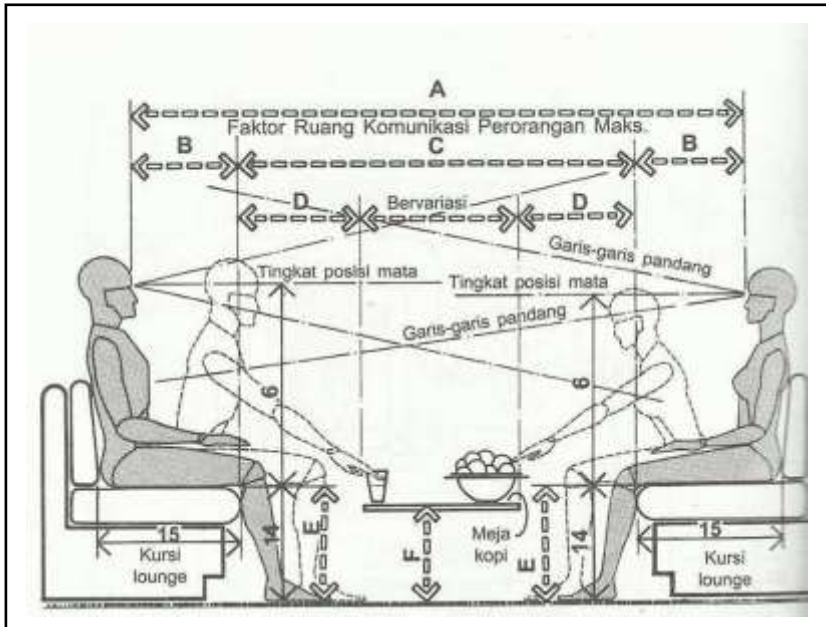
1. Kelelahan Kerja
2. Penyakit akibat Kerja
3. Kecelakaan Kerja

Pertimbangan Ergonomi berkaitan erat dengan perhitungan Antropometri, karena memuat seluruh ukuran tubuh manusia. Mulai dari suku, jenis kelamin, usia, tahun pengambilan data dan sebagainya. Data tersebut menjadi acuan dasar untuk mempertimbangkan luasan cakupan ergonomi tubuh terhadap benda, ruang (*flow*), peralatan, tata ruang dan bangunan. Pertimbangan tersebut akan berkontribusi terhadap kesehatan tubuh saat melakukan aktivitas. Sehingga bila terjadi ketidaksesuaian dengan kebutuhan tubuh terhadap ruang gerak, akan berdampak pula pada kesehatan. Hal tersebut dijelaskan dalam gambar berikut :



**Gambar 3.6 :** Dampak Ergonomi pada Pergerakan Tubuh8

Posisi tubuh yang kurang ergonomis, akan mengganggu proses kinerja. Sehingga dalam jangka pendek akan berakibat pada Kelelahan Kerja. Sedangkan dalam jangka panjang akan menjadi pemicu penyakit organ tubuh (misal : Jantung), yang terjadi secara kontinue. Akibat tersebut akan dievaluasi melalui gambar berikut :



**Gambar 3.7 : Ergonomi Tubuh Ideal**

Sumber : docplayer.info,2022

Dengan demikian, beberapa pertimbangan dalam konsep dan desain arsitektur, akan menghasilkan desain yang ergonomis, guna meminimalkan faktor polutan internal. Berkaitan dengan kebutuhan ergonomik tubuh, berikut disajikan dalam 2 tabel data :

**Tabel 3.1 : Data Antropometri Masyarakat Indonesia serta Dimensionalnya**

No.	Dimensi Tubuh	Persentil		
		5%	50%	95%
1	Tinggi Tubuh Posisi berdiri Tegak	1464,0	1597,5	1732,0
2	Tinggi Mata	1350,0	1483,0	1615,0
3	Tinggi Bahu	1184,0	1305,0	1429,0
4	Tinggi Siku	886,0	980,0	1074,0
5	Tinggi Genggaman Tangan ( <i>Knuckle</i> ) pada Posisi Relaks kebawah	646,0	713,0	782,0
6	Tinggi Badan pada Posisi Duduk	775,0	849,0	919,0
7	Tinggi Mata pada Posisi Duduk	666,0	735,0	804,0
8	Tinggi Bahu pada Posisi Duduk	501,0	561,0	621,0
9	Tinggi Siku pada Posisi Duduk	175,0	230,0	283,0
10	Tebal Paha	115,0	140,0	165,0
11	Jarak dari Pantat ke Lutut	488,0	541,0	590,0
12	Jarak dari Lipat Lutut ( <i>popliteal</i> ) ke Pantat	405,0	493,5	586,0
13	Tinggi Lutut	428,0	484,0	544,0
14	Tinggi Lipat Lutut ( <i>popliteal</i> )	337,0	392,5	445,0
15	Lebar Bahu ( <i>bideltoid</i> )	342,0	404,5	466,0
16	Lebar Panggul	291,0	338,0	392,0
17	Tebal Duda	174,0	220,0	278,0
18	Tebal Perut ( <i>abdominal</i> )	174,0	229,5	287,0
19	Jarak dari Siku ke Ujung Jari	374,0	424,0	473,0
20	Lebar Kepala	135,0	148,0	160,0
21	Panjang Tangan	153,0	172,0	191,0
22	Lebar Tangan	64,0	75,0	87,0
23	Jarak Bentang dari Ujung Jari Tangan Kiri ke Kanan	1400,0	1593,0	1806,0
24	Tinggi Pegangan Tangan ( <i>grip</i> ) pada Posisi Tangan Vertikal ke Atas & Berdiri Tegak	1713,0	1882,0	2051,0
25	Tinggi Pegangan Tangan ( <i>grip</i> ) pada Posisi Tangan Vertikal ke Atas & Duduk	945,0	1099,5	1273,0
26	Jarak Genggaman Tangan ( <i>grip</i> ) ke Punggung pada Posisi Tangan ke Depan ( <i>horizontal</i> )	610,0	684,5	767,0

Sumber : (Nurmianto, 1991)

**Tabel 3.2 : Data Antropometri Masyarakat Indonesia berdasarkan Usia**

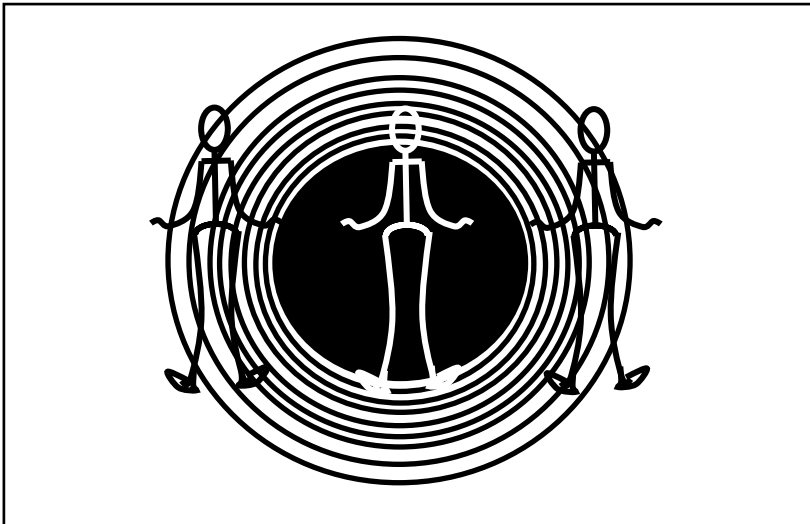
Dimensi	Keterangan	5th	50th	95th	SD
D1	Tinggi tubuh	117.54	152.58	187.63	21.3
D2	Tinggi mata	108.24	142.22	176.2	20.66
D3	Tinggi bahu	96.6	126.79	156.99	18.36
D4	Tinggi siku	73.13	95.65	118.17	13.69
D5	Tinggi pinggul	55.33	87.3	119.27	19.43
D6	Tinggi tulang ruas	48.58	66.51	84.44	10.9
D7	Tinggi ujung jari	40.66	60.39	80.21	12.06
D8	Tinggi dalam posisi duduk	60.93	78.1	95.28	10.44
D9	Tinggi mata dalam posisi duduk	51.11	67.89	84.68	10.2
D10	Tinggi bahu dalam posisi duduk	37.75	54.89	72.03	10.42
D11	Tinggi siku dalam posisi duduk	10.84	24.65	38.47	8.4
D12	Tebal paha	3.75	14.7	25.65	6.66
D13	Panjang lutut	37.72	49.9	62.08	7.41
D14	Panjang popliteal	30.1	39.88	49.65	5.94
D15	Tinggi lutut	36.16	48.12	60.08	7.27
D16	Tinggi popliteal	31.03	40.07	49.1	5.49
D17	Lebar sisi bahu	26.35	38.75	51.16	7.54
D18	Lebar bahu bagian atas	15.44	31.32	47.19	9.65
D19	Lebar pinggul	21.65	32.32	43	6.49
D20	Tebal dada	9.73	19.22	28.71	5.77
D21	Tebal perut	11.02	20.68	30.14	5.81
D22	Panjang lengan atas	21.85	32.04	42.23	6.2
D23	Panjang lengan bawah	26.66	40.53	54.4	8.43
D24	Panjang rentang tangan ke depan	48.36	66.18	84	10.83
D25	Panjang bahu-genggaman tangan ke depan	43.75	56.72	69.7	7.89
D26	Panjang kepala	10.77	17.91	25.05	4.34
D27	Lebar kepala	12.47	16.05	19.64	2.18
D28	Panjang tangan	11.64	17.05	22.47	3.29
D29	Lebar tangan	3.69	9.43	15.17	3.49
D30	Panjang kaki	14.59	22.73	30.87	4.95
D31	Lebar kaki	6.29	9.14	11.98	1.73
D32	Panjang rentangan tangan ke samping	111.41	152.71	194	25.1
D33	Panjang rentangan siku	57.17	79.88	102.59	13.81
D34	Tinggi genggaman tangan ke atas dalam posisi berdiri	138.32	185.76	233.2	28.84
D35	Tinggi genggaman ke atas dalam posisi duduk	80.24	113.42	146.61	20.17
D36	Panjang genggaman tangan ke depan	45.52	64.51	83.5	11.54

Sumber : (Nurmianto, 1991)

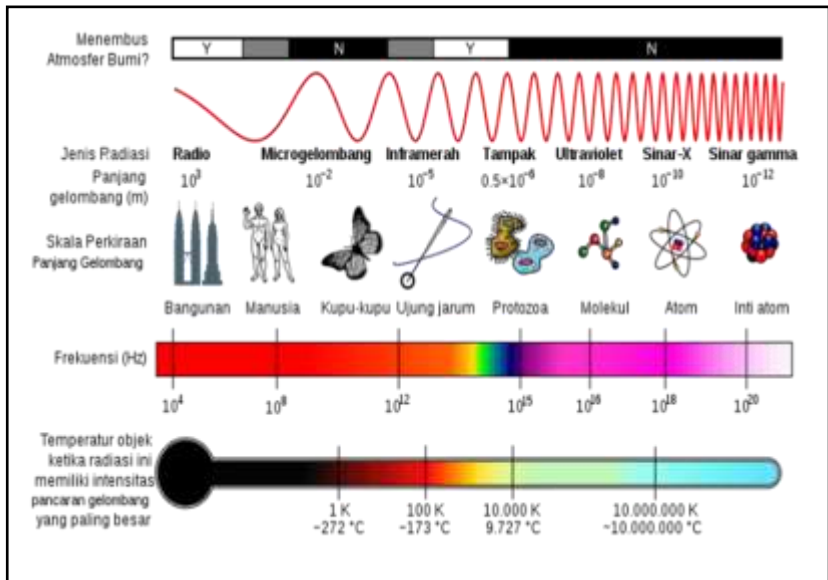
### 3.2.6 Gelombang Elektromagnetik

Pada masa modern, manusia telah terpapar gelombang elektromagnetik secara langsung dan tidak langsung dari berbagai sumber. Gelombang tersebut mayoritas berdampak pada kesehatan tubuh dalam jangka pendek dan panjang. Resiko jangka pendek, lebih sering terlihat secara langsung berupa reaksi negatif pada

tubuh. Misal : merasa mual, pusing, lelah. Sedangkan resiko jangka panjang, lebih bersifat gejala yang tidak ekspresif, namun akibat akan terlihat dalam selang beberapa waktu. Misal : gangguan motoric. Berdasarkan efek negatif gelombang elektromagnetik, maka arsitek berupaya mendesain ruangan dengan menggunakan material tertentu. Melalui material tersebut, maka pengaruh berbagai gelombang elektromagnetik bisa diserap/berkurang mengenai tubuh manusia. Hal tersebut dijelaskan dalam gambar berikut :



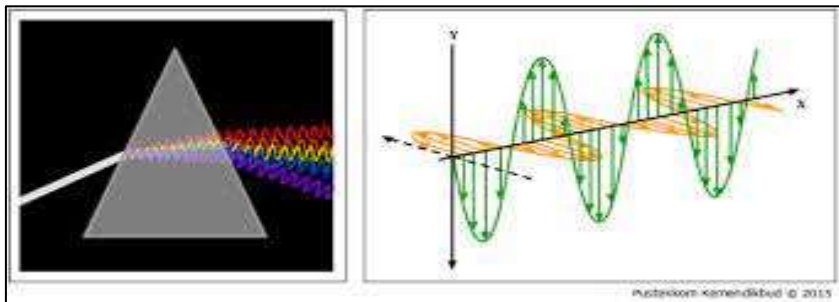
**Gambar 3.8 :** Ruang Gelombang Elektromagnetik



**Gambar 3.9** : Gelombang Elektromagnetik

Sumber : (Wikipedia, 2012)

Penjelasan tersebut diatas diperkuat melalui gambar berikut :



**Gambar 3.10** : Radiasi Elektromagnetik

Sumber : belajar.kemdikbud.go.id,2022

## DAFTAR PUSTAKA

- Anies. 2022. *Mewaspada Penyakit Akibat Perilaku*. Gosyen.
- Mansyur, A.R. 2020. 'Dampak COVID-19 Terhadap Dinamika Pembelajaran Di Indonesia', *Education and Learning Journal*, Vol. 1, No, pp. 113–123.
- NO.28, UU, P. 2022. *UU NO.28 TENTANG BANGUNAN GEDUNG*.
- Nurmianto. 1991. 'Gambar dan Tabel Antropometri Tubuh Manusia'.
- Rahman, F. 2022. *PERANAN MASYARAKAT ADAT DALAM KONSERVASI LINGKUNGAN – Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM*. PSLH UGM. Available at: <https://pslh.ugm.ac.id/peranan-masyarakat-adat-dalam-konservasi-lingkungan/>.
- Sabaruddin, A. 2013. *A-Z Persyaratan Teknis Bangunan*.
- Wikipedia. 2012. *Spektrum elektromagnetik - Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas.pdf*.

# BAB 4

## KONSEP TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

*Oleh Musyawaroh*

### 4.1 Pendahuluan

Toksikologi Lingkungan (*environmental toxicology*) berhubungan dengan efek berbahaya dari bahan/material yang ada di lingkungan yang terpajan oleh manusia, mempelajari tentang pengaruh merugikan dari bahan kimia yang berada di lingkungan terhadap sistem biologi organisme hidup. Efek merugikan yang ditimbulkan mulai dari ringan seperti iritasi kulit sampai berat seperti kerusakan jaringan liver, kelainan kongenital, sampai kematian (Yulianto & Amaloyah, 2017 ; Keman, 2021).

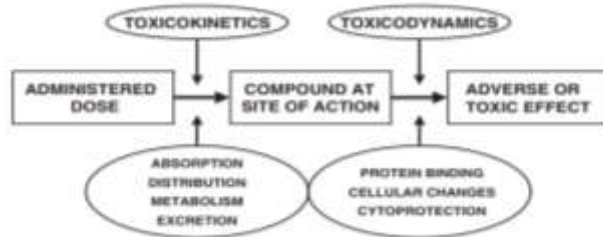
Toksikologi lingkungan adalah ilmu yang mempelajari racun kimia dan fisik yang dihasilkan oleh suatu kegiatan manusia dan menimbulkan pencemaran lingkungan. (Dewata & Yun Hendri Danhas, 2021)

Toksikologi mempelajari tentang sifat, pengaruh, dan cara mendeteksi agen toksik. Toksikologi berasal dari bahasa Yunani, yakni *toxicon* berarti racun dan *logos* berarti ilmu. Sehingga, Truhaut (1974) mendefinisikan toksikologi sebagai ilmu pengetahuan mengenai substansi beracun (toksik), yang dapat menyebabkan perubahan atau gangguan pada fungsi-fungsi suatu organisme sehingga bisa memberi dampak serius dan berbahaya bagi organisme target, seperti kematian. Manusia (Tatang, Sugiyanto, & Sindu, 2017)

Konsep toksik (racun), meskipun sudah dikenal secara umum namun sesungguhnya memiliki arti sangat luas. Bagi orang awam, toksik merupakan sinonim dari kata beracun. Racun didefinisikan sebagai zat kimia dengan tingkat toksisitas tinggi bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Doull dan Bruce (1986) menyatakan bahwa racun adalah agen penyebab kerusakan dan kematian pada makhluk hidup apabila terpejan atau terabsorpsi tubuh (Tatang *et al.*, 2017).



Toksistas merupakan derajat atau potensi kerusakan akibat suatu zat/senyawa asing yang dipejani ke dalam organisme. Terdapat berbagai macam tingkatan toksistas suatu senyawa antara lain: toksistas akut (terjadi dalam waktu cepat), subakut (terjadi dalam waktu sedang), kronik (terjadi dalam waktu lama) ataupun letal (terjadi pada konsentrasi yang dapat menimbulkan kematian secara langsung) dan subletal (terjadi di bawah konsentrasi yang menyebabkan kematian secara langsung). Pengukuran dari toksistas sangat kompleks, karena tingkat keparahannya dapat bervariasi dari satu organ ke organ lain, juga dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti usia, genetika, jenis kelamin, diet, kondisi fisiologis, dan status kesehatan makhluk hidup. Pada umumnya toksistas diekspresikan sebagai lethal concentration 50% (LC50) atau lethal dose 50% (LD50) yaitu konsentrasi atau dosis dalam kondisi spesifik menyebabkan mortalitas pada separoh (50%) populasi organisme dalam jangka waktu tertentu. Nilai ini biasanya ditentukan dalam suatu uji toksistas akut menggunakan hewan percobaan (Hodgson, 2004). (Tatang *et al.*, 2017)

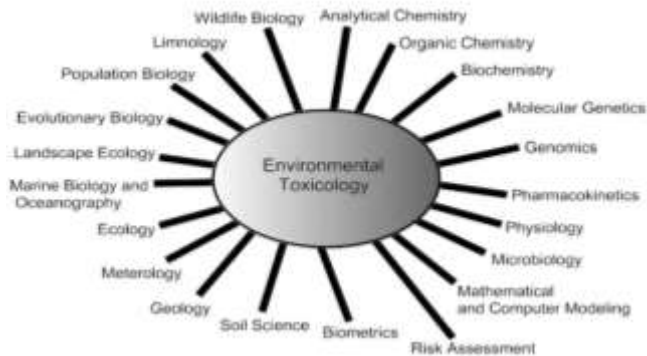


**Gambar 4.1 :** Hubungan Antara Pengiriman Dosis Yang Diberikan Ke Situs Target Dan Timbulnya Respon Yang Merugikan Atau Toksik  
 Sumber : (Duffus & Worth, 2006)

Dosis dan jenis dari suatu zat kimia yang masuk ke dalam tubuh akan mempengaruhi respons yang terjadi di dalam tubuh.

## 4.2 Toksikologi Lingkungan sebagai Ilmu Interdisipliner

Toksikologi lingkungan mengambil dan mengasimilasi dari berbagai disiplin ilmu, meliputi ahli ekologi terestrial dan akuatik, ahli kimia, ahli biologi molekuler, ahli genetika, dan ahli matematika semuanya penting dalam evaluasi dampak bahan kimia pada sistem biologis (Gambar 4.2). Ekologi menyediakan dasar dari kemampuan kita untuk menafsirkan interaksi spesies dalam ekosistem dan dampak yang mungkin ditimbulkan toksikan terhadap fungsi dan struktur ekosistem tertentu. Biologi molekuler dan farmakokinetik beroperasi pada ujung yang berlawanan dari hierarki biologis, yang menggambarkan interaksi organisme dengan toksikan pada tingkat molekuler. Kimia analitik memberikan data tentang konsentrasi lingkungan suatu senyawa dan juga dapat digunakan untuk memperkirakan dosis suatu organisme ketika jaringan dianalisis. Organik kimia menyediakan bahasa dasar dan dasar dari kedua abiotik dan interaksi biotik dalam ekosistem. Biometrik, penerapan statistik untuk masalah biologis, menyediakan alat untuk analisis data dan pengujian hipotesis (Landis & Yu, 1999).



**Gambar 4.2 :** Komponen Toksikologi Lingkungan  
Sumber : (Wayne G. Landis & Yu, 1999)

Pemodelan matematika dan komputer memungkinkan peneliti untuk memprediksi efek dan untuk meningkatkan kekakuan hipotesis. Biologi evolusioner menyediakan data untuk membuat perbandingan dari spesies ke spesies dan

menggambarkan adaptasi spesies terhadap lingkungan pengubah. Mikrobiologi dan genetika molekuler mungkin tidak hanya membantu ahli toksikologi lingkungan memahami nasib dan transformasi polutan mental lingkungan, tetapi juga dapat memberikan ilmu pengetahuan dan alat yang efisien untuk membersihkannya, membangun dan memulihkan ekosistem. Ilmu penilaian risiko sebagaimana diterapkan pada toksikologi lingkungan dapat membentuk kerangka kerja untuk memandu penelitian dan mengembangkan hipotesis spesifik yang dapat diuji. Yang semakin penting bagi bidang toksikologi lingkungan adalah data analisis dan penemuan pola data yang beragam jenis dan struktur. Interaksi mendasar dari toksikologi lingkungan adalah pada tingkat molekuler, namun efeknya sangat luas dan terasa di banyak timbangan fisik. Alat baru akan menghasilkan wawasan baru ke dalam interaksi bahan kimia dengan struktur ekologi.

### **4.3 Sejarah Singkat Toksikologi Lingkungan**

Disiplin ilmu toksikologi lingkungan relatif baru. Pada tahun 2002, simposium tahunan yang disponsori oleh *American Society for Testing and Material* (ASTM) dan pertemuan tahunan ke-23 yang disponsori oleh *Society for Toksikologi* dan Kimia Lingkungan (SETAC) tentang toksikologi lingkungan telah diadakan. Teks yang dibahas menjadi potret dari arah dan penelitian akhir 1980-an sampai awal tahun 2000. Ilmu pengetahuan telah berkembang dari pengujian khasiat pestisida pada tahun 1940-an ke pembersihan sungai yang terbakar, danau yang tercemar, dan pembunuhan satwa liar pada tahun 1960-an. Pengesahan Undang-Undang Kebijakan Lingkungan Nasional dan pembentukan Badan Perlindungan Lingkungan AS (EPA) memaksa perkembangan pesat di lapangan. Standar Udara Bersih dan Air Bersih diwajibkan oleh undang-undang untuk melindungi kesehatan manusia dan lingkungan. Lokakarya Pellston dari awal 1970-an memberikan titik fokus untuk diskusi dan konsolidasi toksikologi lingkungan. Ketika pengembangan standar menjadi penting, hubungan dengan ASTM berkembang, yang menghasilkan Komite E-47 nasib dan dampak lingkungan. Panitia ini bertanggung jawab atas penulisannya dari banyak metode penting yang digunakan oleh ahli

toksikologi lingkungan di seluruh dunia. Organisasi untuk Kerjasama Ekonomi dan Pembangunan (OECD) melayani tujuan yang sama di Eropa. Pada tahun 1979, SETAC didirikan sebagai lembaga ilmiah masyarakat untuk mendukung kebutuhan lapangan yang terus berkembang. Pada tahun 1980, 85 orang hadir pada Pertemuan Tahunan SETAC pertama di Washington, DC Pada tahun 1991, 2230 ilmuwan dan pembuat kebijakan menghadiri pertemuan di Seattle, dan 3000 sekarang hadir setiap tahun (Wayne G. Landis & Yu, 1999).

Bidang toksikologi lingkungan terus berkembang. Pencemaran lingkungan adalah fakta kehidupan, dan para ilmuwan ahli terus diminta untuk memberikan saran, seringkali dengan sedikit data atau waktu untuk mengembangkan informasi yang diperlukan. Kemarahan publik dapat mengarah pada pendanaan jangka pendek dan pandangan yang kurang jelas. Seringkali konsentrasi pendanaan dan penelitian tentang perawatan segera hewan yang sekarat/sakit, mengabaikan kerusakan yang terjadi pada perkembangan normal struktur dan fungsi ekosistem. Solusi diperlukan, namun pengembangan pengetahuan ilmiah dan keahlian manajemen tidak selalu terjadi. Begitu hewan yang sekarat itu terkubur dan baunya hilang, perubahan jangka panjang dan tidak dapat diubah dalam ekosistem sering diabaikan. Demikian juga, reaksi berlebihan dan penerapan teknik pengobatan yang luar biasa mahal dan yang tidak memberikan pengembalian yang wajar dapat menguras dana dan lainnya sumber daya dari kebutuhan masyarakat yang penting (Wayne G. Landis & Yu, 1999).

#### **4.3.1 Interaksi dan Hubungan Toksikologi Lingkungan dengan Pengelolaan Sistem Ekologi**

Ada banyak jenis interaksi yang membentuk bidang toksikologi lingkungan. Beberapa khas untuk bidang penelitian dasar, tetapi dapat digunakan sebagai informasi dalam pengambilan keputusan/regulasi yang lebih luas. Setiap jenis interaksi dijelaskan di bawah ini:

##### **1. Program Penelitian**

Segmen ini merupakan bagian paling mendasar dari bidang toksikologi lingkungan, termasuk identifikasi toksisitas dan apa

penyebabnya. Efek berkisar dari perubahan pada tingkat molekuler hingga perubahan fungsi dan struktur sistem ekologi. Yang sangat penting adalah pengembangan metode pengujian, alat analisis, dan teknik statistik yang memungkinkan perolehan data dari sekumpulan subjek yang begitu beragam.

## 2. Komunitas Ilmiah

Komunitas ilmiah adalah kekuatan intelektual dan industri di balik pelaksanaan penelitian. Bagian dari fungsi komunitas ilmiah adalah publikasi makalah dalam jurnal peer-review, buku, dan publikasi lain yang melaporkan informasi yang dihasilkan oleh program penelitian.

## 3. Penilaian Risiko Ekologis

Penilaian risiko merupakan alat untuk menerjemahkan penelitian dan temuan bidang toksikologi lingkungan ke dalam prediksi efek lingkungan dan kebijakan publik. Penilaian risiko adalah bidang studi yang luas yang menggabungkan risiko karena transportasi, penyakit, keputusan sosial, dan bahkan terorisme. Dalam konteks toksikologi lingkungan, penilaian risiko memberikan prediksi efek sebagai probabilitas dan melaporkan ketidakpastian yang terkait dengan prediksi. Penggunaan kerangka probabilistik memungkinkan kuantifikasi interaksi antara bahan kimia, stresor lingkungan lainnya, dan sistem biologis atau ekologi target. Bagian penting dari proses penilaian risiko adalah interaksi dengan pembuat keputusan dan kebijakan, baik di lingkungan industri, pemerintah, atau masyarakat umum.

## 4. Instansi Pemerintah dan badan Pengatur

Instansi pemerintah di tingkat federal, negara bagian, provinsi, dan lokal telah menjadi pendorong utama pengembangan toksikologi lingkungan. Badan-badan ini bertindak sebagai perwakilan dari legislatif, pengadilan, atau cabang eksekutif pemerintah dalam menetapkan kebijakan dan aturan lingkungan. Mereka sering menetapkan standar untuk konsentrasi kimia di udara, air, tanah, sedimen, dan jaringan yang menjaga kesehatan manusia dan fungsi sistem ekologi yang berharga.

## 5. Industri

Industri mencakup kelompok yang menambang, memproduksi, mengangkut, atau menggunakan bahan kimia. Sebagaimana dibahas pada bagian berikutnya, ada sejumlah peraturan yang mengatur penggunaan dan pembuangan bahan kimia. Untuk mematuhi peraturan ini dan untuk mencegah bahan beracun dari dampak negatif terhadap lingkungan, industri menerapkan ilmu toksikologi lingkungan dalam beberapa cara. Bahan kimia yang sedang dikembangkan dikenai berbagai uji toksisitas untuk memastikan bahwa toksisitas yang tidak beralasan bukanlah sifat bahan. Efluen dari pembuangan limbah diuji menggunakan berbagai bioassay untuk memastikan bahwa bahan yang dilepaskan tidak memiliki toksisitas terkait yang melebihi batas peraturan. Kemampuan rejim pengolahan limbah yang berbeda untuk mengurangi toksisitas juga dapat dievaluasi dengan menggunakan bioassay yang sama ini.

## 6. Masyarakat Umum

Dalam diskusi ini masyarakat umum dianggap sebagai organisasi non-pemerintah (LSM), termasuk kelompok warga, asosiasi daerah aliran sungai, klub Rotary dan Kiwanis, serikat pekerja, dan kelompok lingkungan khusus seperti Sierra Club atau World Wildlife Fund. Kelompok-kelompok ini membentuk aspek penting dari proses pengambilan keputusan karena mereka mewakili individu-individu yang memiliki kepentingan langsung dalam lingkungan.

Salah satu peran penting yang dimainkan kelompok-kelompok ini dalam proses pengambilan keputusan lingkungan adalah dalam artikulasi nilai-nilai yang diperoleh setiap kelompok dari lingkungan. Nilai-nilai ini dapat mencakup komponen ekonomi, keamanan, budaya, atau estetika, dan setiap komponen itu penting.

### 4.3.2 Perundang-undangan

Tidak seperti banyak penelitian dasar, toksikologi lingkungan sering didefinisikan oleh dan didorong oleh kebijakan publik seperti yang tertulis dalam undang-undang. Banyak dari undang-undang ini di AS, Kanada, dan Eropa mengamatkan

pengujian toksisitas atau memerlukan penilaian toksisitas. Di AS, hukum federal sering kali dapat ditambah, tetapi tidak dilemahkan, oleh negara-negara bagian. Misalnya, di Negara Bagian Washington ada tanggung jawab negara bagian dan federal untuk penilaian kerusakan akibat tumpahan minyak atau zat berbahaya lainnya. Negara Bagian Washington memiliki peraturan sendiri untuk pengendalian bahan beracun dan juga mengelola izin Sistem Penghapusan Debit Polusi Nasional (NPDES). Ada beberapa undang-undang yang sangat relevan dengan pengembangan toksikologi lingkungan (Wayne G. Landis & Yu, 1999).

Undang-Undang Pengendalian Polusi Air Federal tahun 1972 dan sebagaimana telah diubah pada tahun 1976 (33 USC Bagian 1251 hingga 1376) umumnya dikenal sebagai Undang-Undang Air Bersih. Tujuannya adalah untuk memulihkan dan menjaga keutuhan perairan bangsa. Peraturan yang diberlakukan oleh undang-undang ini mengatur konsentrasi maksimum yang diperbolehkan dari racun dalam pembuangan dan air penerima. Hasil pengujian toksisitas biasanya digunakan untuk menentukan batas-batas tersebut. Selain itu, izin NPDES sekarang umumnya mengharuskan penggunaan uji toksisitas per yang terbentuk pada limbah dari berbagai lokasi manufaktur untuk menetapkan kriteria kepatuhan (Wayne G. Landis & Yu, 1999).

Meskipun undang-undang Federal yang dibahas di atas telah memberikan kekuatan peraturan utama dalam toksikologi lingkungan, mandat lain di tingkat federal dan negara bagian berlaku. Persyaratan ini kemungkinan akan bertahan, memberikan kebutuhan yang berkelanjutan untuk akuisisi data dalam toksikologi lingkungan.

#### **4.3.3 Penggunaan Model dalam Ilmu Lingkungan**

Model dari setiap jenis digunakan dalam toksikologi lingkungan. Ada tiga klasifikasi luas model dalam ekologi (Nisbet & Gurney., 1982):

1. Model taktis dirancang untuk membuat prediksi atau ramalan spesifik dan jangka pendek dari populasi atau komunitas tertentu. Model simulasi termasuk dalam kategori ini. Informasi

rinci tentang spesies, interaksi, dan karakteristik fisik sistem diperlukan.

2. Model strategis biasanya sederhana dan dapat dilacak secara matematis. Jenis model ini dirancang untuk mengeksplorasi prinsip-prinsip dasar ekologi, toksikologi, kimia, geologi, dan bidang lainnya dan tidak dirancang untuk meniru populasi atau lingkungan tertentu.
3. Model yang dapat diuji dari data laboratorium atau lapangan adalah kelas model akhir yang luas. Jenis model ini melibatkan derivasi prediksi tertentu yang dapat diuji. Teori yang baik harus mengarah pada model jenis ini. Di seluruh buku ini harus diakui bahwa banyak dari topik utama yang dibahas adalah model realitas taktis, strategis, atau dapat diuji.

#### **4.4 Kerangka Kerja untuk Toksikologi Lingkungan**

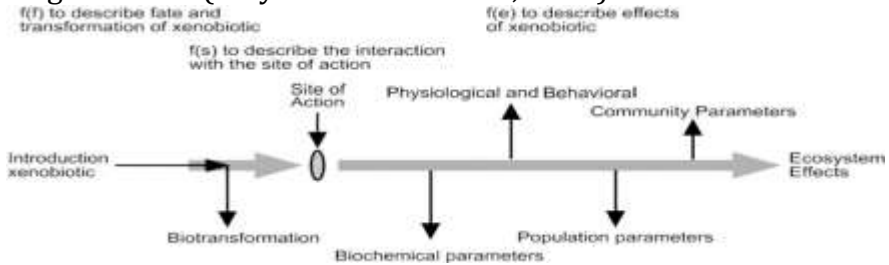
Toksikologi lingkungan dapat disederhanakan menjadi pemahaman hanya tiga fungsi. Fungsi-fungsi ini disajikan pada Gambar 4.3, (1) Adanya interaksi bahan kimia yang diintroduksi yaitu xenobiotik dengan lingkungan. Interaksi ini mengontrol jumlah toksikan atau dosis yang tersedia bagi biota. (2) Ada interaksi xenobiotik dengan tempat kerjanya. Tempat kerjanya adalah protein tertentu atau molekul biologis lain yang berinteraksi dengan toksikan. (3) ada interaksi xenobiotik dengan tempat kerja pada tingkat molekuler, yang menghasilkan efek pada tingkat organisasi biologis yang lebih tinggi. Jika ahli toksikologi lingkungan dapat menulis fungsi yang sesuai yang akan menggambarkan transfer efek dari interaksinya dengan molekul reseptor spesifik ke efek yang terlihat di tingkat komunitas, akan mungkin untuk memprediksi secara akurat efek polutan di lingkungan (Wayne G. Landis & Yu, 1999).

##### **4.4.1 Sudut Pandang Klasik untuk Mengklasifikasikan Efek Toksikologi**

Teknik telah diturunkan untuk mengevaluasi efek pada setiap langkah, dari pengenalan xenobiotik ke biosfer hingga rangkaian efek akhir. Teknik-teknik ini tidak seragam untuk setiap kelas racun, dan campurannya bahkan lebih sulit untuk dievaluasi. Mengingat latar belakang ini, bagaimanapun, adalah mungkin



untuk menguraikan tingkat interaksi biologis dengan xenobiotik sebagai berikut (Wayne G. Landis & Yu, 1999):

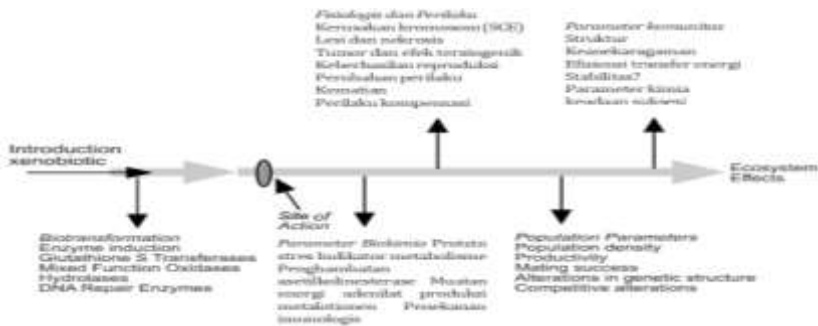


**Gambar 4.3 : Tiga Fungsi Toksikologi Lingkungan**  
 Sumber: (Wayne G. Landis & Yu, 1999).

Setiap tingkat organisasi dapat diamati dan diperiksa di berbagai derajat resolusi. Faktor-faktor yang berada di bawah setiap level diilustrasikan dalam Gambar 4.3 Contoh faktor-faktor ini pada setiap tingkat organisasi biologis diberikan di bawah ini.

1. Karakteristik Kimia/Fisik-Kimia

Interaksi atom dan elektron dalam molekul tertentu menentukan dampak senyawa pada tingkat molekuler. Kontribusi karakteristik fisik-kimia suatu senyawa terhadap toksisitas yang diamati disebut hubungan struktur-aktivitas kuantitatif (QSAR). QSAR memiliki potensi yang memungkinkan ahli toksikologi lingkungan untuk memprediksi konsekuensi mental lingkungan dari toksikan hanya menggunakan struktur sebagai panduan. respon bahan kimia terhadap radiasi ultraviolet dan reaktivitasnya dengan konstituen abiotik lingkungan menentukan nasib suatu senyawa.



### **Gambar 4.4 : Parameter Dan Indikasi Interaksi Xenobiotik Dengan Ekosistem**

Sumber: (Wayne G. Landis & Yu, 1999)

Harus diingat bahwa dalam banyak kasus interaksi pada tingkat molekuler dengan xenobiotik adalah kebetulan. Seringkali interaksi ini merupakan produk sampingan dari fungsi fisiologis biasa dari situs biologis tertentu dengan beberapa senyawa berbobot molekul rendah lainnya yang terjadi dalam metabolisme normal organisme. Xenobiotik sering meniru organisme alami ini, menyebabkan degradasi dan detoksifikasi dalam beberapa kasus, dan dalam kasus lain, toksisitas.

#### 2. Bioakumulasi/Biotransformasi/Biodegradasi

Banyak hal dapat terjadi pada xenobiotik antara pengenalannya ke lingkungan dan interaksinya di lokasi aksi. Banyak bahan yang diubah dengan cara tertentu tergantung pada karakteristik kimia tertentu dari lingkungan. Bioakumulasi, peningkatan konsentrasi bahan kimia dalam jaringan dibandingkan dengan lingkungan, sering terjadi pada bahan yang lebih larut dalam lipid dan organik (lipofilik) daripada dalam air (hidrofilik). Senyawa sering diubah menjadi bahan lain oleh berbagai sistem metabolisme yang mengurangi atau mengubah toksisitas bahan yang dimasukkan ke dalam tubuh. Proses ini adalah biotransformasi. Biodegradasi adalah proses yang memecah xenobiotik menjadi bentuk yang lebih sederhana. Pada akhirnya, biodegradasi organik menghasilkan pelepasan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O ke lingkungan.

#### 3. Reseptor dan Mode Aksi

Situs di mana xenobiotik berinteraksi dengan organisme pada tingkat molekuler sangat penting. Molekul reseptor atau tempat kerja ini dapat berupa asam nukleat, protein spesifik di dalam sinapsis saraf atau terdapat di dalam membran sel, atau bisa sangat tidak spesifik. Narkosis dapat mempengaruhi organisme tidak melalui interaksi dengan molekul kunci tertentu tetapi dengan mengubah karakteristik membran sel. Jenis interaksi tertentu menentukan apakah efeknya luas atau lebih spesifik di dalam organisme dan secara filogenetik.

#### 4. Efek Biokimia dan Molekuler

Ada berbagai macam efek tingkat perubahan pada DNA. Adisi DNA dan kerusakan untai adalah indikator bahan genotoksik, senyawa yang mempengaruhi atau mengubah transmisi materi genetik. Salah satu keuntungan dari metode ini adalah bahwa situs aktif dapat diperiksa untuk berbagai organisme. Metodologinya terbukti dan dapat digunakan secara virtual terlepas dari spesiesnya. Namun, kerusakan DNA hanya memberikan klasifikasi yang luas untuk jenis racun.

#### 5. Efek Fisiologis dan Perilaku

Indikator dampak fisiologis dan perilaku dalam suatu populasi adalah cara klasik yang digunakan untuk menilai kesehatan populasi. Kelemahan utama telah ekstrapolasi faktor-faktor ini berdasarkan kesehatan organisme individu, menghubungkan kerusakan polutan tertentu dan ekstrapolasi ini ke tingkat populasi.

#### 6. Parameter Populasi

Berbagai titik akhir telah digunakan, termasuk jumlah dan struktur populasi, untuk menunjukkan stres. Penilaian jumlah atau kepadatan populasi telah banyak digunakan untuk populasi tumbuhan, hewan, dan mikroba terlepas dari masalah dalam penangkapan kembali tanda dan strategi pengambilan sampel lainnya. Karena tahap kehidupan yang lebih muda dianggap lebih sensitif terhadap berbagai polutan, pergeseran struktur usia ke populasi yang lebih tua dapat mengindikasikan stres. Selain itu, siklus dalam struktur umur dan ukuran populasi terjadi karena sifat-sifat yang melekat pada struktur umur populasi dan interaksi pemangsa mangsa.

#### 7. Efek Komunitas

Struktur komunitas biologis selalu menjadi indikator stres yang umum digunakan dalam komunitas biologis. Studi awal tentang eutrofikasi budaya menekankan dampak polusi karena mereka mengubah komposisi spesies dan aliran energi ekosistem perairan. Berbagai indeks biologis telah dikembangkan untuk menilai kesehatan ekosistem dengan mengukur aspek populasi invertebrata, ikan, atau tumbuhan. Mungkin kelemahan terbesar adalah upaya yang diperlukan untuk menentukan struktur ekosistem dan untuk memahami efek yang diinduksi polusi dari

perubahan suksesi normal. Ada juga godaan untuk mereduksi data menjadi satu indeks atau parameter lain yang menghilangkan dinamika dan sifat stokastik komunitas.

#### 8. Dampak Ekosistem

Perubahan komposisi spesies dan metabolisme suatu ekosistem adalah dampak paling dramatis yang dapat diamati. Presipitasi asam telah didokumentasikan menyebabkan perubahan signifikan baik di perairan dan terestrial ekosistem. Pengenalan nutrisi tentu meningkatkan laju eutrofikasi.

Efek dapat terjadi yang mengubah pola lanskap ekosistem. Perubahan dalam suhu global memiliki efek yang nyata pada distribusi spesies. Kombinasi masukan nutrisi, pemanfaatan, dan racun telah sangat signifikan mengubah sistem Teluk Chesapeake.

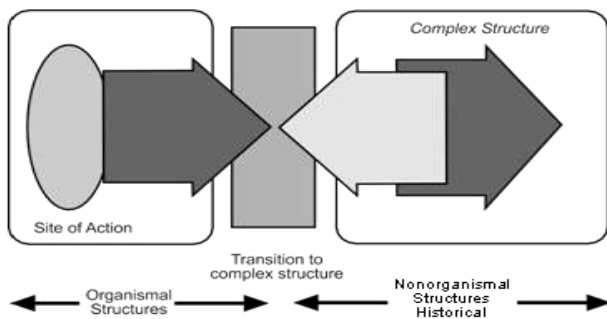
#### 4.4.2 Kerangka Alternatif Menggabungkan Teori Kompleksitas

Kerangka kerja yang disajikan di atas adalah pendekatan klasik untuk menyajikan dampak bahan kimia pada berbagai aspek sistem biologi dan ekologi. Ada kemungkinan bahwa ada alternatif yang lebih akurat menggambarkan sifat dasar dari setiap aspek sistem ini.

Kerangka kerja seperti itu masih dalam tahap awal pengembangan dan telah diterbitkan dalam bentuk garis besar (Wayne G. Landis, Matthews, & Matthews, 1996). Format dasar kerangka kerja ini sangat mudah. Ada dua jenis struktur yang berbeda yang berkaitan dengan penilaian risiko (Gambar 4.5).

Organisme memiliki inti pusat informasi, tunduk pada seleksi alam, yang dapat memaksakan homeostasis (suhu tubuh) atau keragaman (sistem kekebalan) pada konstituen sistem itu. Genom suatu organisme sangat berlebihan, salinan lengkap yang ada di hampir setiap sel, dan komunikasi dan koordinasi terarah antara berbagai segmen organisme adalah kejadian umum. Kecuali ada perubahan dalam struktur genetik dari garis germinal, dampak pada sel somatik dan struktur organisme terhapus pada pembentukan generasi baru.

Arus Informasi di Kedua Arah



**Gambar 4.5** : Kerangka Organisme Dan Non Organisme  
 Sumber: (Wayne G. Landis & Yu, 1999)

Struktur nonorganisme atau ekologi memiliki sifat yang berbeda secara fundamental. Tidak ada tempat penyimpanan informasi yang terpusat dan dapat diwariskan, analog dengan genom, yang berfungsi sebagai cetak biru untuk sistem ekologi. Selain itu, seleksi alam itu egois, bekerja berdasarkan karakteristik fenotipe genom dan kerabat dekatnya dan bukan pada struktur yang ada di luar batas-batas genom.

Tidak adanya cetak biru dan banyaknya interaksi dan hubungan nonlinier yang terjadi dalam suatu ekosistem berarti bahwa sejarah peristiwa masa lalu ditulis ke dalam struktur dan dinamikanya. Banyaknya dinamika nonlinier dan sifat historis ekosistem memberikan sifat kompleksitas pada sistem.

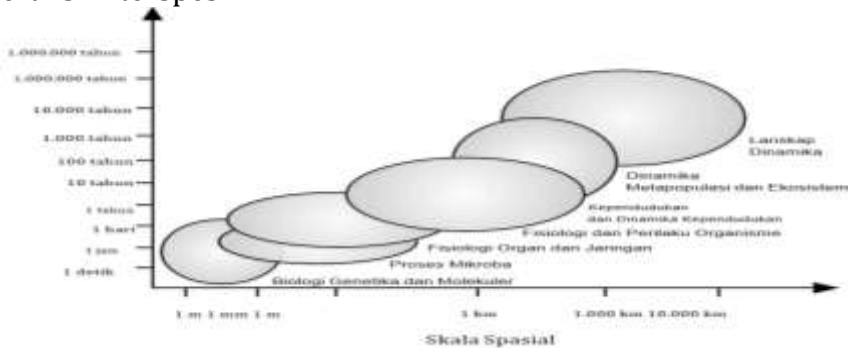
Kompleks, struktur nonlinier memiliki sifat spesifik, terdaftar oleh (Çambel, 1993). Beberapa poin yang sangat penting tentang bagaimana ekosistem bereaksi terhadap kontaminan adalah:

1. Struktur kompleks tidak sepenuhnya deterministik atau stokastik, dan mereka menunjukkan kedua karakteristik.
2. Penyebab dan akibat dari peristiwa yang dialami sistem adalah tidak proporsional.
3. Bagian-bagian yang berbeda dari sistem yang kompleks dihubungkan dan mempengaruhi satu sama lain secara sinergis.
4. Sistem yang kompleks mengalami proses ireversibel.
5. Sistem kompleks bersifat dinamis dan tidak seimbang; mereka terus-menerus memindahkan target.

Sifat-sifat ini sangat penting dalam desain, analisis data, dan interpretasi uji toksisitas multispecies, studi lapangan, dan penilaian risiko lingkungan dan akan dibahas di bagian yang sesuai. Pendekatan alternatif ini menolak transisi efek yang mulus dan mengakui bahwa ekosistem pada dasarnya memiliki sifat yang berbeda dan diharapkan bereaksi secara tak terduga terhadap kontaminan.

#### 4.4.3 Skala Spasial dan Temporal

Tidak hanya ada skala dalam organisasi, tetapi juga ada skala ruang dan waktu. Sangat penting untuk dicatat bahwa semua fungsi yang dijelaskan di bagian sebelumnya bertindak pada berbagai skala spasial dan temporal (Suter dan Barnhouse 1993). Meskipun dalam banyak kasus skala ini tampak tidak terhubung, mereka sebenarnya saling terkait erat. Efek pada tingkat molekuler memiliki efek tingkat ekosistem. Sebaliknya, dampak pada skala luas mempengaruhi urutan materi genetik karena evolusi terjadi sebagai respons terhadap perubahan konsentrasi racun atau interaksi interspesifik.



**Gambar 4.6 :** Tumpang Tindih Skala Spasial Dan Temporal Dalam Toksikologi Lingkungan  
 Sumber: (Wayne G. Landis & Yu, 1999)

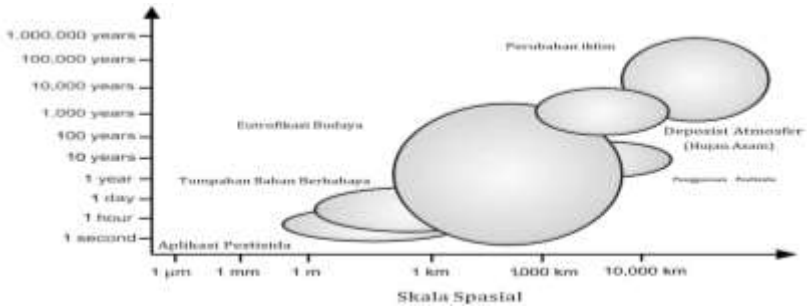
Kisaran skala yang penting dalam toksikologi lingkungan bervariasi dari beberapa angstrom interaksi molekuler hingga ratusan ribu kilometer persegi yang dipengaruhi oleh peristiwa skala besar. Gambar 4.6 menyajikan beberapa aspek organisasi dari sistem ekologi dengan skala temporal dan spasial yang sesuai. Aktivitas molekuler dan degradasi mungkin ada selama periode

dan volume yang singkat, tetapi dampak akhirnya bisa bersifat global.

Contoh paling penting dari jalur biokimia baru yang menghasilkan dampak global adalah pengembangan fotosintesis. Bola atom Bumi awalnya berkurang. Fotosintesis menghasilkan oksigen sebagai produk sampingan. Oksigen, yang cukup beracun, menjadi penyusun utama atmosfer. Perubahan ini menghasilkan peristiwa kepunahan massal, namun juga menyediakan evolusi metabolisme yang jauh lebih efisien.

Efek pada tingkat komunitas dan ekosistem sebaliknya memiliki efek pada tingkat organisasi yang lebih rendah. Struktur sistem ekologi memungkinkan beberapa individu populasi untuk bermigrasi ke daerah di mana spesies berada di bawah tingkat yang berkelanjutan atau berada pada kepunahan. Jika jalur menuju daerah yang terkuras tidak terlalu panjang, populasi sumber dapat menyelamatkan populasi yang berada di bawah tingkat lestari. Alih-alih kepunahan, suatu populasi mungkin berkelanjutan atau bahkan mungkin meningkat karena penyelamatannya dari populasi tetangga. Jika struktur lanskap ekologis memberikan sedikit peluang untuk penyelamatan, kepunahan lokal akan lebih mungkin terjadi.

Karena efek toksikan dapat berkisar pada berbagai skala temporal, demikian juga sifat masukan toksikan ke sistem (Gambar 4.7). Penggunaan pestisida di rumah atau di kebun mungkin merupakan peristiwa dengan skala beberapa menit dan satu meter persegi. Penambahan nutrisi ke sistem ekologi karena industrialisasi dan pertanian dapat mencakup ribuan kilometer persegi dan bertahan selama ratusan atau ribuan tahun. Durasi dan skala input antropogenik sangat bervariasi; namun, sangat penting untuk menyadari bahwa interaksi toksikan dengan organisme masih pada tingkat molekuler. Efek kecil dapat memiliki implikasi global.



**Gambar 4.7 :** Tumpang Tindih Skala Spasial Dan Temporal Dalam Kontaminasi Kimia

Sumber: (Wayne G. Landis & Yu, 1999)

#### 4.4.4 Menggabungkan Skala dan Dinamika Ekologis: Paradigma Dinamis Patch Hirarkis

Bagian sebelumnya telah menetapkan persyaratan untuk konstruksi keseluruhan untuk memperkirakan dampak racun. Kerangka kerja yang akurat untuk memperkirakan dampak racun pada sistem ekologi harus menggabungkan berbagai skala spasial dan temporal, menangani heterogenitas dalam ruang dan waktu, dan mencakup berbagai dinamika ekologi yang diamati.

**Tabel 4.1 :** Asumsi Sentral Paradigma HPD

1. Sistem ekologi adalah hierarki tambalan yang terstruktur secara spasial dengan tambalan yang lebih besar dibangun dari tambalan yang lebih kecil.
2. Dinamika suatu sistem ekologi dapat dipelajari sebagai dinamika komposit patch individu dan interaksi patch tersebut dengan patch lainnya pada tingkat hierarki yang sama dan berdekatan.
3. Pola dan proses, sebab dan akibat, bergantung pada skala. Interaksi terjadi ketika keduanya pada domain skala yang sama dalam ruang dan waktu.
4. Tidak ada proses keseimbangan dan stokastik yang umum dan penting untuk ruang yang tampak dan pola dan proses temporal yang ditemukan dalam sistem ekologi.
5. Stabilitas yang dirasakan dalam sistem ekologi sering kali berbentuk metastabilitas yang dicapai melalui redundansi struktural dan fungsional yang tergabung dalam ruang dan waktu. Pola yang tampak stabil pada satu skala mungkin disebabkan oleh proses nonequilibrium dan stokastik yang terjadi pada hierarki skala yang berdekatan.



*Sumber:* Dimodifikasi dari Wu, J. dan JL David, 2002. Pendekatan hierarkis spasial eksplisit untuk pemodelan sistem ekologi yang kompleks: teori dan aplikasi. *Ekol. Model.* 153: 7–26.

Paradigma dinamis patch hirarkis (HPDP) memenuhi persyaratan di atas (Jianguao & John, 2002; Wu & Loucks, 1995). Ini adalah model untuk menggambarkan pada tingkat mendasar interaksi dan dinamika sistem ekologi pada skala lanskap dan regional. HPDP secara inheren menggabungkan dan memprediksi berbagai skala temporal dan spasial, heterogenitas, dan berbagai dinamika. Prinsip dasar HPDP tercantum pada Tabel 4.1. Kerangka kerja ini merupakan alternatif dari model sistem ekologi yang menggabungkan keseimbangan alam, stabilitas bawaan, atau keseimbangan ganda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Çambel, A. B. 1993. Applied Chaos Theory A Paradigm for Complexity. <https://doi.org/10.1155/1997/295417>
- Dewata, I., & Yun Hendri Danhas. 2021. *Toksikologi Lingkungan, Konsep & Aplikatif*. Rajawali Press.
- Duffus, J. H., & Worth, H. G. J. 2006. *Fundamental Toxicology. The Royal Society of Chemistry*. Cambridge: RSC Publishing. <https://doi.org/10.1039/9781847552648>
- Jianguao, W., & John, L. D. 2002. A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications. *Ecological Modelling*, 153, 7–26.
- Keman, Soedjajadi, 2018. *Pengantar Taksologi Lingkungan*, Airlangga University Press, Surabaya.
- Landis, Wayne G., Matthews, R. A., & Matthews, G. B. 1996. The layered and historical nature of ecological systems and the risk assessment of pesticides. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(4), 432–440. [https://doi.org/10.1897/1551-5028\(1996\)015<0432:TLAHNO>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1897/1551-5028(1996)015<0432:TLAHNO>2.3.CO;2)
- Landis, Wayne G., & Yu, M.-H. 1999. *Inroduction to ENVIRONMETAL TOXICOLOGY Impacts of Chemicals Upon Ecological Systems. Analysis*.
- Nisbet, R. M., & Gurney., W. S. C. 1982. Modeling Fluctuating Populations. John Wiley & Sons, Chichester, U.K., pp. 1–3..pdf.
- Tatang, I, Sugiyanto, & Sindu, N. 2017. Toksikologi Lingkungan, (1), 119.
- Wu, J., & Loucks, O. L. 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: A paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology*, 70(4), 439–466. <https://doi.org/10.1086/419172>
- Yulianto, & Amaloyah, N. 2017. *Toksikologi Lingkungan. Kementerian Kesehatan*. Jakarta: SDM Kesehatan RI.



# BAB 5

## JALUR PAJANAN RACUN

*Oleh Satya Darmayani*

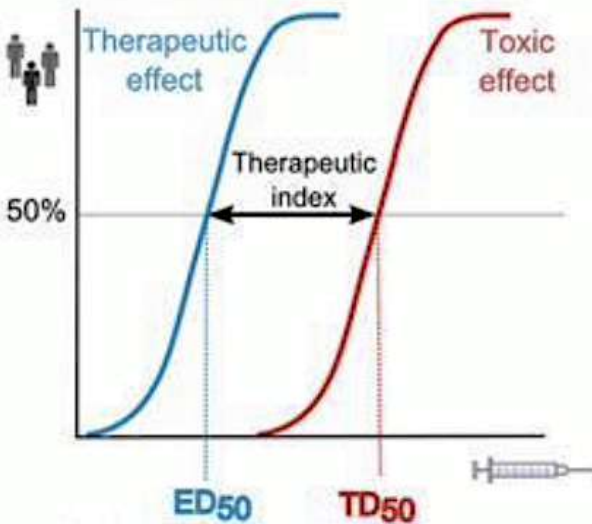
### 5.1 Pendahuluan

Toksisitas merupakan derajat atau potensi kerusakan akibat suatu zat/senyawa asing yang dipejani ke dalam organisme. Terdapat berbagai macam tingkatan toksisitas suatu senyawa antara lain: toksisitas akut (terjadi dalam waktu cepat), subakut (terjadi dalam waktu sedang), kronik (terjadi dalam waktu lama) ataupun letal (terjadi pada konsentrasi yang dapat menimbulkan kematian secara langsung) dan subletal (terjadi di bawah konsentrasi yang menyebabkan kematian secara langsung). Pengukuran dari toksisitas sangat kompleks, karena tingkat keparahannya dapat bervariasi dari satu organ ke organ lain, juga dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti usia, genetika, jenis kelamin, diet, kondisi fisiologis, dan status kesehatan makhluk hidup. Pada umumnya toksisitas diekspresikan sebagai lethal konsentrasi antara dosis (konsentrasi) dan mekanisme suatu bahan kimia dapat concentration 50% (LC50) atau lethal dose 50% (LD50) yaitu konsentrasi atau dosis dalam kondisi spesifik menyebabkan mortalitas pada separuh (50%) populasi organisme dalam jangka waktu tertentu. Nilai ini biasanya ditentukan dalam suatu uji toksisitas akut menggunakan hewan percobaan (Hodgson, 2004). Pada uji toksisitas subkronis dan kronis, dikenal istilah ADI (*Acceptance Daily Intake*) atau asupan harian yang dapat diterima, NOEL (*No Observed Effect Level*) atau dosis dimana tidak ada efek terlihat, dan NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*) atau dosis dimana tidak ada efek toksik terlihat. Ada juga istilah MTD (*Maximum Tolerated Dose*) yaitu dosis tertinggi yang dapat ditoleransi tanpa adanya kematian signifikan pada hewan uji dari penyebab selain tumor (Hollinger, 2002).

#### 5.1.1 Hubungan Dosis-Mekanisme Bahan Toksik

Hubungan antara dosis dan mekanisme suatu bahan kimia dapat dilakukan dengan 2 cara, yakni menguji frekuensi efek timbul

pada suatu kelompok objek percobaan dengan mengubah-ubah dosis (*dose response relation*) atau dengan mengubah -ubah dosis, mengukur intensitas kerja pada suatu objek percobaan (*dose effect relation*). Kurva dosis- mekanisme dapat diperoleh dengan preparat biologik in vitro sederhana, misal dengan mengukur kontraksi otot polos yang diberi spasmogen. Secara in vivo, akan jauh lebih sulit untuk mendapatkan kurva bersangkutan karena berbagai mekanisme pengaturan. Penyelidikan mengenai hubungan dosis-reaksi biasanya dilakukan dengan hewan percobaan. Hasilnya berupa grafik, kurva, atau diagram antara dosis dan jumlah individu (hewan coba) seperti pada Gambar berikut (Ariens, 1993).



**Gambar 5.1 :** Kurva hubungan dosis-reaksi

Kurva tersebut menunjukkan persen (%) individu memberi reaksi terhadap efek suatu senyawa kimia dan digambarkan secara linier terhadap dosis. Dosis yang menyebabkan 50% individu memberikan reaksi digunakan sebagai besaran aktivitas (ED50) atau letalitas/kematian (LD50) dari senyawa tersebut. Kurva dosis-reaksi dapat pula digunakan untuk menentukan dua efek berbeda dari suatu zat yaitu mekanisme terapeutik dan mekanisme toksik. Kuosien LD50/ED50 dinyatakan sebagai kuosien terapeutik (indeks terapeutik) dan merupakan ukuran spektrum terapeutik. Disamping

kuosien LD50/ED50, juga dapat ditentukan kuosien lain misalnya LD5/ED95 atau LD25/ED75. Selama kurva dosis-reaksi berjalan sejajar, maka dengan kuosien LD50/ED50 akan didapat gambaran lebih baik tentang spektrum terapeutik zat bersangkutan. Jika kurva tidak sejajar, maka kuosien LD25/ED75 atau LD25/ED75 dalam hal-hal tertentu berguna. Karena itu, untuk menyatakan secara mutlak tentang keamanan terapeutik, harus dilihat secara keseluruhan bentuk kurva dosis-reaksi dan kurva dosis- kematian, karena tidak dapat hanya ditentukan oleh suatu kuosien tertentu. Kurva dosis- kematian hanya dapat dilakukan pada percobaan dengan hewan. Pada manusia hanya efek toksik tidak mematikan yang dapat dicari, misal efek samping penting. Untuk itu akan didapat kurva dosis-toksitas. Di negara Eropa dan Amerika, disamping dosis letal (LD) istilah dosis terapeutik juga digunakan (TD), sebagai spektrum terapeutik, yaitu kuosien TD50/ED50 (Ariens, 1993).

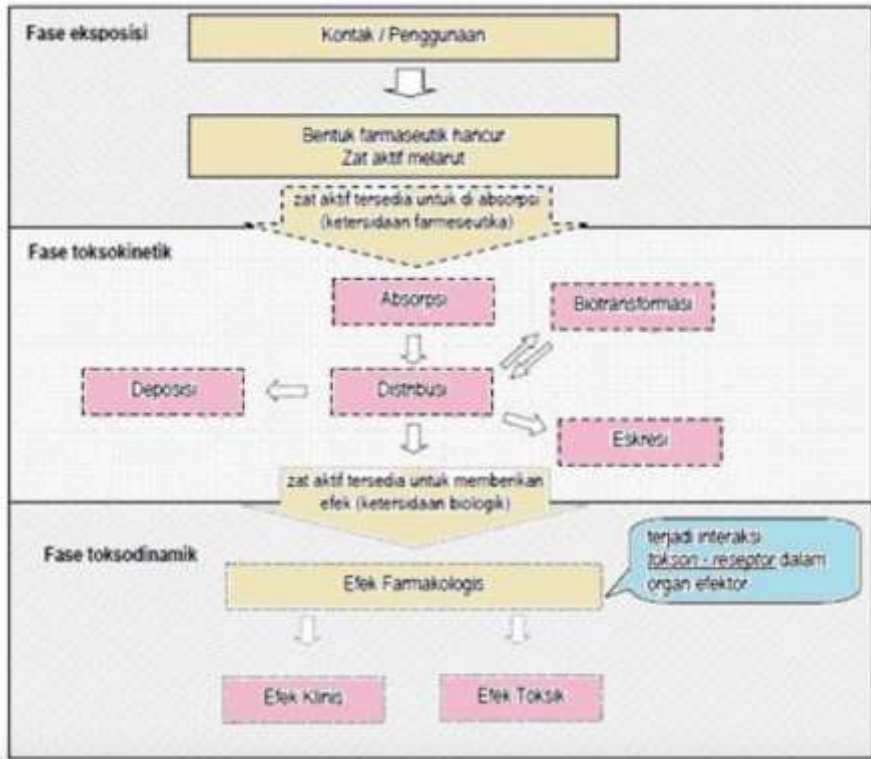
## **5.2 Mekanisme Toksik**

Hasil dari serangkaian proses biokimia, biologi dan fisika yang kompleks dan rumit umumnya merupakan suatu mekanisme toksik. dilihat dari mekanisme kerja dan berbagai kerja toksik, dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Mekanisme toksis : zat senyawa atau metabolit dengan substrat yang berinteraksi secara kimia membentuk ikatan kimia yang kovalen dengan sifat bolak-balik
2. Pengaruh toksis : interaksi bolak-balik antara substrat biologi dan zat asing yang mengakibatkan perubahan fungsional. Jika dari dalam zat plasma di keluarkan zat asing maka pengaruh toksiknya hilang.

Secara umum mekanisme toksik dikelompokkan menjadi tiga fase, yaitu : fase eksposisi, fase toksokinetik dan fase toksodinamik. Dalam mengkaji interaksi asing dengan organisme hidup harus diperhatikan 2 aspek yaitu : mekanisme dan pengaruh xenobiotika terhadap organisme. Mekanisme xenobiotika di organisme ialah yang secara biologik senyawa kimia tersebut aktif pada organisme tersebut (aspek toksodinamik). Sedangkan fase

toksokinetik ialah reaksi organisme terhadap xenobiotika (Mutschler, 1999)



**Gambar 5.2 :** Deretan proses fase mekanisme toksis pada organisme

### 5.2.1 Fase Eksposisi

Pada tahap ini, ada kotak atau paparan antara xenobiotik dan makhluk hidup. Paparan ini dapat terjadi melalui kulit, saluran pernapasan (inhalasi), atau asupan oral (Gambar 7.4). Umumnya, efek toksik atau farmakologis hanya dapat terjadi setelah xenobiotik diserap. Rute utama penyerapan zat eksogen adalah saluran pencernaan, paru-paru dan kulit. Namun, dalam studi keracunan dan toksikologi yang tidak disengaja, paparan Xenobiotik dapat terjadi melalui rute injeksi seperti intravena, intramuskular, subkutan, intraperitoneal dan rute injeksi lainnya (Mutschler, 1999).



**Gambar 5.3** : Cara masuk xenobiotik ke dalam tubuh manusia

Umumnya, hanya bentuk xenobiotik terlarut dan terdispersi secara molekuler yang dapat diserap ke dalam sistem sistemik. Penyerapan zat eksogen sangat bergantung pada konsentrasi dan lamanya kontak antara zat eksogen dengan permukaan organisme yang mampu menyerap zat eksogen tersebut. Dalam hal ini, laju penyerapan dan jumlah bahan xenogenik yang diserap akan menentukan potensi efek biologis/toksik. Dalam penggunaan obat, fase ini disebut fase obat. Dalam tahap demonstrasi ini, zat beracun dapat diubah menjadi senyawa yang lebih atau bahkan kurang beracun dari senyawa awal melalui reaksi kimia tertentu (Frank, 1995).

### 5.2.2 Fase Toksikinetik

Fase ini juga dikenal sebagai fase farmakokinetik. Setelah zat eksogen tersedia untuk penggunaan obat, dalam hal ini zat eksogen siap diserap ke dalam darah atau pembuluh limfatik, zat eksogen akan didistribusikan ke seluruh tubuh sepanjang aliran darah atau getah bening dan mencapai tempat kerja Toksik (reseptor). Pada saat yang sama, beberapa molekul eksogen dimetabolisme, atau melewati ginjal, empedu dengan urin ke saluran pencernaan atau sistem ekskresi lainnya (Frank, 1995).

Hanya sebagian dari zat yang diserap mencapai tempat kerja yang sebenarnya, yaitu jaringan target dan reseptor. Tahapan toksikokinetik dan prosesnya, yaitu invasi (penyerapan dan distribusi)



dan pelepasan (biotransformasi dan ekskresi) sangat mempengaruhi daya kerja zat, Karena konsentrasi zat ini dalam kompartemen individu dan jaringan target tergantung pada parameter toksikokinetik. Ada 2 proses dalam tahap ini, diantaranya adalah proses transpor dan proses perubahan metabolisme atau biotransformasi. Proses transportasi meliputi penyerapan, distribusi (termasuk transportasi dan fiksasi komponen jaringan dalam organ), dan ekskresi. Proses perubahan metabolisme meliputi reaksi dekomposisi (penghentian hidrolisis, oksidasi dan reduksi) dan reaksi konjugasi. Reaksi konjugasi biasanya didetoksifikasi, sehingga produk hampir selalu tidak aktif secara biologis. Meskipun biasanya menyebabkan inaktivasi zat, metabolit aktif terbentuk karena perubahan kimia, terutama oksidasi. Jika metabolit aktif bersifat toksik, dikatakan telah terjadi keracunan (Koeman, 1987).

### **5.2.3 Fase Toksodinamik**

Tahap ini merupakan interaksi antara xenobiotik dan reseptor (situs mekanistik spesifik), sehingga terjadi proses terkait yang pada akhirnya menimbulkan efek toksik. Konsentrasi xenobiotik akan menentukan kekuatan efek biologis yang ditimbulkan. Biasanya, konsentrasi tinggi bahan kimia beracun ditemukan di hati (liver) dan ginjal (ginjal), di mana zat beracun dimetabolisme dan dikeluarkan.

Interaksi reseptor toksin umumnya merupakan interaksi reversibel. Hal ini menyebabkan perubahan fungsional yang biasanya hilang ketika xenobiotik dihilangkan dari tempat kerjanya (reseptor). Namun, selain interaksi reversibel, terkadang terjadi interaksi ireversibel antara xenobiotik dan sistem biologis. Interaksi ini didasarkan pada interaksi kimia antara xenobiotik dan sistem biologis, di mana terjadi ikatan kimia kovalen dengan sifat ireversibel atau xenobiotik itu sendiri mengalami perubahan kimia, seperti pembentukan peroksida (Frank, 1995)

### **5.2.4 Bioakumulasi**

Bioakumulasi didefinisikan sebagai suatu proses dimana terjadi akumulasi (penumpukan) senyawa kimia asing (xenobiotik) di dalam suatu organisme baik secara langsung dari lingkungan abiotik (air, udara, tanah) ataupun dari sumber bahan makanan (transfer trofik).

Paparan secara terus menerus xenobiotik terhadap makhluk hidup dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi penumpukan dalam tubuh. Terlebih jika suatu substansi pencemar memiliki waktu paro biologis relatif lama, maka pencemar tersebut akan terdegradasi dan tereliminasi lebih lama dari tubuh organisme. Sehingga kemungkinan terjadi penumpukan akan semakin besar (Beek, 2000).

Xenobiotik di lingkungan sebagian besar masuk ke tubuh organisme secara difusi pasif. Tempat utama terjadinya paparan meliputi membran paru-paru, insang, dan saluran gastrointestinal. Bahkan pada kulit dan struktur terkaitnya yang memiliki kemampuan perlindungan terhadap paparan senyawa asing dari lingkungan, dapat terjadi paparan beberapa xenobiotik secara signifikan. Bioakumulasi xenobiotik berhubungan positif dengan kelarutan lipid (lipofilisitas), karena xenobiotik harus melintasi lapisan lipid bilayer dari membran untuk masuk ke dalam tubuh (Hodgson, 2004).

Lingkungan perairan merupakan tempat utama dimana xenobiotik lipofilik melintasi penghalang (barrier) antara lingkungan abiotik dan biota. Hal ini dikarenakan sungai, danau, dan laut menjadi tempat terlarutnya berbagai senyawa xenobiotik dan makhluk hidup akuatik akan menyerapnya melalui sistem pernafasan mereka (insang). Sehingga bioakumulasi xenobiotik dapat terjadi pada makhluk hidup akuatik. Tingkat akumulasi xenobiotik yang terjadi sangat bergantung pada kandungan lipid organisme, karena lipid berfungsi sebagai tempat utama retensi bahan kimia. Xenobiotik juga dapat ditransfer sepanjang rantai makanan dari organisme mangsa ke predator (transfer tropik). Untuk xenobiotik dengan lipofilisitas tinggi, transfer ini dapat menghasilkan peningkatan konsentrasi xenobiotik dengan tiap hubungan progresif di rantai makanan atau dikenal dengan biomagnifikasi, seperti pada Gambar berikut (Hodgson, 2004).



**Gambar 5.4 :** Biakumulasi dan biomagnifikasi di makhluk hidup akuatik

Umumnya relasi antara konsentrasi substansi pencemar di lingkungan dan di dalam jaringan makhluk hidup dinyatakan dalam parameter faktor biokonsentrasi (BCF = bioconcentration factor). Parameter ini merupakan rasio antara konsentrasi suatu senyawa di lingkungan dan konsentrasi senyawa yang sama dalam jaringan makhluk hidup (Wirasuta, 2006).

Bioakumulasi xenobiotik tentu saja akan memberi dampak tidak baik, seperti rusaknya sistem kesehatan makhluk hidup, baik pada manusia, tumbuhan, atau hewan, dan rusaknya keseimbangan ekosistem karena pengaruh pada rantai makanan. Dampak pada sistem kesehatan akibat proses bioakumulasi lebih pada sifat kronis jangka panjang. Penimbunan xenobiotik akan menyebabkan penyakit-penyakit kronis seperti kanker, gangguan organ, syaraf, dan hormon. Selain dampak karsinogenik, bioakumulasi juga berdampak akan terjadinya proses mutagenik dan teratogenik, yakni bila terjadi pada hewan atau manusia akan menyebabkan perubahan

pada gen sehingga menimbulkan gangguan kehamilan dan kelainan pada janin (Beek, 2000).

Sedangkan dampak bioakumulasi pada keseimbangan ekosistem adalah timbunan zat di lingkungan, baik secara cepat atau lambat akan mempengaruhi daya dukung lingkungannya. Gangguan terhadap makhluk hidup dapat berpengaruh pada mutasi gen dan teratogenik makhluk hidup yang akan berujung pada kepunahan suatu spesies. Dengan hilangnya suatu spesies tertentu, maka rantai makanan akan kacau dan lingkungan menjadi tidak seimbang. Ketidakseimbangan lingkungan akan berdampak pada kepunahan spesies lain (Beek, 2000).

## **5.3 Apa Yang Harus Diketahui Dan Dilakukan Pada Peristiwa Keracunan**

### **5.3.1 Identifikasi**

Ketika terjadi kecelakaan karena bahan-bahan kimia yang mengandung racun atau bahan-bahan toksis/racun yang lain, yang pertama harus dilakukan adalah mengidentifikasi (mengenali) bahan-bahan yang di curigai jadi penyebab keracunan.

Mengenai bahan-bahan racun/toksik merupakan hal yang sangat penting artinya dalam menentukan diagnosis keracunan. Setiap peristiwa keracunan oleh bahan-bahan racun yang jenis dan sifatnya berlainan (berbeda), mempunyai cara-cara pertolongan dan pengobatan yang berbeda pula.

Setiap kejadian keracunan oleh bahan-bahan racun yang jenis dan sifatnya tidak diketahui, pengobatan dan pertolongan berdasar pada gejala-gejala klinis yang muncul akibat rangsangannya.

### **5.3.2 Petunjuk untuk menentukan diagnosis keracunan**

- Gejala-gejala klinis biasanya timbul beberapa menit/jam setelah bahan-bahan racun masuk ke dalam tubuh. Misalnya pada keracunan oleh bahan-bahan kimia korrosif asam kuat atau basa (*accidental poisoning by corrosive aromatics, acids and caustic alkalis*) yang termakan atau terminun akan segera timbul tanda- tanda pada bibir dan selaput lendir mulut berwarna keputih-putihan atau agak kebiru-biruan akibat luka bakar kimia, timbul rasa sakit atau rasa panas terbakar pada

tenggorok, sakit/nyeri pada lambung yang disertai mual (nausea), rasa ingin muntah dan cairan muntah berwarna coklat (kopi) karena bercampur dengan darah.

Pada keracunan melalui alat pernapasan seperti pada keracunan oleh bahan kimia dalam bentuk gas, uap atau kabut yang merangsang dan merusak selaput lendir alat pernapasan, misalnya keracunan oleh gas chloor akan timbul gejala-Bejala rasa pedih dan panas pada tenegorok disertai batuk-batuk kering dan bila keracunannya paran disertai sesak napas dan muntah darah.

Pada keracunan oleh gas H<sub>2</sub>S (Hydrogen Sulfide) yang sifatnya merangsang dan mempengaruhi dan merusak sistem sarap pusat, dapat menimbulkan kematian mendadak disebabkan kegagalan bernapas (keracunan dalam konsentrasi yang tinggi).

Pada keracunan oleh insektisida DDT dan insektisida lainnya seperti Dielarine, Aldrine, Endrine, Baygon, Malathion, dan sebasainya, avan timbul tanda-tanda konvulsi (kejang-kejang), anggota badan pometaran (tremor), pengeluaran air hur/ludah dan keringat yang berlebihan.

- Anamnesis (informasi) atau keterangan-keterangan yang diberikan oleh korban atau orang-orang yang mengetahuinya.
- Hasil pemeriksaan laboratorium dari bahan muntah penderita. Sisa makanan yang mash ada atau dari tempat/botol yang mungkin dipakai sebagai wadah/tempt bahan-bahan racun tersebut.
- (Indikasi) Penilaian terhadap keadaan lingkungan kerja terutama pada perusahaan/industri yang menghasilkan atau menggunakan proses kimia seperti perusahaan serat sintetis (rayon/selulosa), perusahaan penyamakan kulit, dan sebagainya.

### **5.3.3 Sumber dan macam racun**

Keracunan dapat disebabkan oleh bermacam-macam:

1. Bahan-bahan kimia beracun (bersifat racun)
2. Racun yang terdapat pada tumbuh-tumbuhan seperti ubi ketela yang mengandung asam sianida (HCn), jengkol, pohon tuba (Derris), sebangsa jamur, dan sebagainya.
3. Racun binatang berbisa seperti ular berbisa, kalajengking, tawon, dan sebangsa laba-laba.
4. Racun yang terdapat pada bahan-bahan makanan yang terjadi karena perubahan-perubahan kimia (fermentasi) dan adanya bakteri karena pembusukan (daging busuk), tempe bongkrek, racun yang terdapat pada udang dan kepiting.

### **5.3.4 Bentuk bahan-bahan beracun**

1. Padat (debu, kabut)
2. Liquid (cairan/larutan)
3. Gas dan Uap

### **5.3.5 Cara-cara masuknya ke dalam tubuh**

Cara masuknya bahan-bahan beracun (toksis) dan penyerapannya ke dalam tubuh, dapat melalui 3 jalan:

1. Melalui mulut/alat pencernaan dengan jalan termakan atau terminum;  
Melalui mulut jarang terjadi, biasanya disebabkan oleh tangan yang kotor atau tangan yang tercemar oleh bahan-bahan beracun, dapat juga melalui makanan yang tercemar dan dapat juga karena disengaja mencampurkan bahan-bahan racun pada makanan dalam usaha bunuh diri atau pembunuhan.
2. Melalui kulit dengan jalan kontak/bersentuhan, tertumpah ke kulit dengan jalan tusukan oleh gigitan binatang berbisa, melalui suntikan seperti obat-obat narkotika; Melalui absorpsi kulit lebih sering terjadi, biasanya terjadi pada pekerja-pekerja yang sehari-harinya bergaul dengan bahan-bahan kimia seperti keracunan oleh CS<sub>2</sub> (Carbon Disulfide), Air raksa, Hg (mercury), Pb dan senyawaan organik lainnya seperti senyawaan Arsen, Aniline, Tetraethyl, dan sebagainya.

Bahan-bahan kimia tersebut merupakan bahan-bahan kimia yang dapat diabsorpsi oleh kulit yang selain dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan setempat pada kulit, dapat menimbulkan keracunan sistemik, yaitu keracunan yang mempengaruhi/merusak bagian organ tubuh bagian dalam seperti kerusakan ginjal, hati, dan sebagainya.

Demikian pula bahan-bahan kimia yang berbentuk debu atau kabut sebagai efek proses produksi yang disebabkan dari proses pengolahan yang berkonsentrasi dalam udara ruang kerja melebihi batas kadar tertinggi (Maximum Allowable Concentration), dapat juga terjadi penyerapan melalui kulit, sehingga penggunaan respirator atau masker dengan tabung oksigen sebagai pelindung diri tidak cukup aman, tetapi harus dilengkapi juga dengan pakaian pelindung, sarung tangan karet dan sepatu karet.

3. Melalui alat pernapasan dengan jalan aspirasi (pengisapan).

Keracunan melalui alat pernapasan paling banyak terjadi dan merupakan hal yang harus diperhatikan oleh setiap orang, karena absorpsi bahan kimia melalui alat pernapasan sebagian dari bahan kimia tersebut diabsorpsi oleh selaput lendir bagian atas alat pernapasan dan sebagian lagi menembus jaringan paru-paru.

Bahan-bahan kimia yang diabsorpsi melalui kulit dan lewat jalan pernapasan, langsung memasuki sirkulasi darah dan diedarkan keseluruh jaringan tubuh sebelum/tanpa melalui hati. Hati (hepar) merupakan alat penting untuk menghilangkan (detoksifikasi) berbagai macam racun yang masuk ke dalam tubuh melalui alat pencernaan.

Bahan-bahan kimia yang masuk melalui alat pencernaan (mulut) akan melalui hati terlebih dahulu sebelum memasuki peredaran (sirkulasi) darah, sehingga masih mungkin zat-zat beracun disingkirkan atau disaring terlebih dahulu oleh hati.

### 5.3.6 Pengaruh bahan-bahan racun pada tubuh

Bahan-bahan kimia beracun atau bahan-bahan racun lainnya dapat menyebabkan berbagai macam bentuk gangguan kesehatan ;

1. Mempengaruhi sistem sirkulasi darah
  - a. Jaringan darah (pembuluh darah), menyebabkan shock karena kurangnya aliran darah (vasogenic shock) dan volume darah yang berkurang pada jaringan sel-sel otak karena pembuluh-pembuluh darah yang menyempit.
  - b. Tekanan jantung yang menurun/denyut jantung (hypotentie cardiac), darah yang mengalir ke jantung terlalu banyak atau darah dalam jantung yang banyak (kongesti jantung).
  - c. Irama detak jantung tidak teratur (cardiac arrhythmias).
  - d. Jantung mendadak berhenti (cardiac arrest).
2. Mempengaruhi sistem sarap pusat:
  - a. Rasa sakit
  - b. Kelebihan rangsangan di sarap sentral (*hyperexcitability*), banyak bicara/mengaco (*dellirium*), munculnya kejang-kejang (konvulsi) dan zat pembakaran (oksigen) dalam darah yang berkurang;
  - d. Depresi (penekanan) pada sarap pusat ditandai dengan munculnya kelumpuhan reflek secara umum, berhentinya alat pernapasan (*asphyxia*) dan metabolisme dalam sel-sel otak terganggu;
  - e. Gangguan atau kelainan psikis (kejiwaan).
3. Pengaruh terhadap alat pencernaan seperti rongga mulut (*gastro intestinal tracts*), seperti rasa mual (nausea), muntah, rasa sakit daerah lambung (abdominal pain) dan mencret (diare);
4. Pengaruh terhadap alat untuk kencing, seperti terganggunya pengeluaran air kencing/kencing sedikit-sedikit (*urinary retention*) ialah gejala kerusakan ginjal.
5. Rusaknya hati (hepar) yang menyebabkan (hepatik coma).
6. Pengaruh terhadap keseimbangan air dalam elektrolit dalam tubuh (dehidrasi), yaitu keseimbangan garam (NaCl), keseimbangan asam dan basa (*acidosis dan alkalosis*), gangguan keseimbangan postasium dan kalsium dalam darah.



7. Luka bakar kimia pada kulit, selaput lendir pada mulut/tenggorok (*moucus membrance*) dan selaput lendir mata.

#### **5.4 Faktor -Faktor Yang Mempengaruhi Ringan Atau Beratnya Keracunan**

Berat ringannya keracunan oleh bahan-bahan racun atau kimia bergantung pada faktor-faktor :

1. Sifat keracunan : keracunan kronis (tahunan) dan akut juga sistemik ialah keracunan yang berdampak pada keseluruhan atau merusak bagian organ-organ dalam tubuh seperti ginjal, jantung, hati dan lainnya.
2. Cara masuk ke tubuh : melalui pernapasan, mulut ( alat pencernaan), melalui absorpsi kulit dengan jalan bersebtuhan atau dengan tertumpah mengenai kulit.
3. Sifat-sifat bahan racun :
  - a. Racun yang bersifat iritatif dan korosif, ialah racun yang merangsang dan merusak jaringan-jaringan selaput lendir pada kulit, alat-alat pernapasan dan pencernaan.
  - b. Racun yang merusak sarap (neuro toksis) seperti racun/bisa ular tanah (ular gebuk), racun yang merusak/mempengaruhi sarap pusat seperti karbon disulfida CS<sub>2</sub> dan sebagainya.
  - c. Racun pelarut darah yang merusak sel-sel darah (hematoksis dan hemapotik) seperti bahan-bahan kimia yang mengandung senyawa bisa ular kobra dan arsen.
4. Racun yang masuk kedalam tubuh yang banyak, baik lewat aspirasi atau absorpsi kulit maupun mulut (oral)
5. Macam/jenis racun : racun lemah, sedang, agak kuat dan kuat. Keracunan bahan-bahan kimia bergantung pada fisik dan sifat-sifat kimia tersebut :
  - a. Kecepatan penyerapan di tentukan oleh daya larut bahan tersebut, struktur kimia yang mempengaruhi bahan tersebut terhadap metabolisme sel dalm tubuh
  - b. Besarnya partikel-partikel debu yang merupakan sifat fisik mempengaruhi daya penetrasi dalam paru-paru

- c. Sifat reaksi jaringan, mekanisme dan eliminasi bahan-bahan tersebut dari tubuh.
6. Kondisi/keadaan pribadi, eliminasi dan mekanisme juga pekanya seseorang terhadap bahan-bahan kimia tertentu.

Keracunan oleh bahan-bahan kimia dapat terjadi secara akut dan secara kronis atau menahun dalam jangka waktu yang cukup lama setelah mengalami kontak atau eksposi (berada di tempat yang tidak terlindung) dari bahan-bahan kimia tersebut.

Keracunan kronis biasanya terjadi disebabkan keracunan dalam konsentrasi rendah, tetapi terjadi berulang-ulang sehingga menimbulkan penimbunan (komulatif) dalam tubuh, karena tidak dapat dikeluarkan oleh tubuh.

## 5.5 Macam/Jenis Bahaya Dalam Perusahaan (Keracunan Dan Kecelakaan)

1. Keracunan dengan gas/uap (*Accidental poisoning by Gases and Vapours*):
  - Keracunan oleh gas/up  $H_2S$  (Hydrogen Sulfide),  $CS_2$  (Carbon Disulfide), Cl (Chlorin),  $NH_3$  (Amoniak) dan bahan-bahan kimia lainnya yang mempunyai efek terhadap sistem saraf pusat.
  - Keracunan oleh gas CO (Carbon Monoxide) dan sebagainya.
2. Keracunan oleh bahan-bahan kimia padat atau cair (larutan) (*accidental poisoning by solid and liquid substances*), yaitu keracunan melalui oral (mulut) oleh bahan-bahan korosif aromatik asam/basa, kostik alkalis seperti Air raksa, Hg (Mercury) atau persenyawaannya seperti  $HgCl$  (sublimat). Obat-obat insektisida golongan Chlorinated Hydrocarbon seperti DDT, Aldrine, Endrine, Dieldrine, dan sebagainya, dan dapat juga melalui absorpsi kulit dengan jalan kontak atau tertumpah ke kulit.
3. Keracunan/kecelakaan disebabkan bahan-bahan kimia asam kuat yang menimbulkan luka bakar kimia, seperti oleh  $H_2SO_4$  (asam sulfat) misalnya Phenol (asam karbol) atau bahan-bahan kimia korosif lainnya (*accidental caused by corrosive liquid substances*).

4. Kecelakaan disebabkan kebakaran dan ledakan bahan-bahan yang mudah terbakar (*accidental caused by fire and explosion combustible material*) misalnya bensin, amunisi, CS2, dan sebagainya.
5. Kecelakaan disebabkan gigitan binatang berbisa (*accidental caused by bite and stings of venomous animals and insects*), misalnya digigit ular berbisa, disengat kalajengking, dan tawon.
6. Kecelakaan disebabkan oleh tekanan udara tinggi atau rendah (*high and low air pressure*) seperti pada penyelam-penyelam di dasar lautan, pekerja-pekerja pertambangan, dan yang disebabkan tekanan udara rendah biasanya terdapat pada pendaki-pendaki gunung.
7. Kecelakaan disebabkan oleh mesin-mesin berjalan (*accidental caused by machinery*) misalnya tergilas mesin berputar yang mengakibatkan patah/putusnya anggota badan.
8. Kecelakaan disebabkan tegangan arus listrik tinggi.

## 5.6 Prinsip Pertolongan Pada Keracunan

Prinsip pertolongan pada peristiwa keracunan, adalah mencegah penyebaran bahan-bahan racun ke dalam tubuh dengan cara-cara:

1. *Emetic*, yaitu mengeluarkan bahan-bahan racun yang telah masuk ke dalam tubuh (termakan/terminum) dengan jalan memuntahkan, memberikan obat-obat pencahar (*laxan*/obat kuras) untuk mencegah absorpsi oleh usus dan untuk mempercepat defekasi (*bung air besar*).
2. *Cathartic*, mencuci lambung/menguras lambung (*gastric lavage*) dengan menggunakan catheter (*selang karet*) lambung melalui mulut memakai air hangat biasa atau larutan-larutan khusus untuk lambung (*dilakukan di rumah sakit*).
3. *Neutralizer*, yaitu menetralkan racun dengan jalan memberi obat-obat antidotum khusus atau antidotum universal.
4. Mengencerkan bahan-bahan racun yang termakan/terminum dengan jalan memberikan minum sebanyak mungkin (*pertolongan pertama*).

5. Mengikat bahan-bahan racun logam yang masuk ke dalam tubuh dengan memberikan obat-obat antidota khusus seperti BAL (*British Anti Lewisite*), Dimercaprol melalui suntikan, biasanya dipergunakan untuk keracunan air raksa, Hg (Mercury), Cobalt, Arsen, Nikel, Emas, tetapi tidak bisa digunakan untuk keracunan timah.
6. Memberi antidota secara manual dengan jalan memberikan pernapasan buatan (*artificial respiration*) atau dengan memberikan oksigen pada penderita yang mengalami asphyxia (mati lemas) akibat keracunan oleh gas-gas tertentu, misalnya pada peristiwa keracunan oleh gas H<sub>2</sub>S.

Pada beberapa peristiwa keracunan yang mengakibatkan kerusakan-kerusakan jaringan-jaringan tubuh, dapat diberikan pengobatan pencegahan terhadap infeksi dengan obat-obat antibiotika.

Pertolongan pertama pada peristiwa keracunan oleh bahan-bahan racun atau bahan kimia lainnya yang dapat dilakukan oleh orang (bukan dokter), dapat menggunakan cara-cara pertolongan No. 1, 3, 4, dan 6.

## **5.7 Penyebab racun dan cara penanganannya**

Racun bisa masuk ke dalam tubuh manusia melalui sengatan atau gigitan hewan berbisa, mata, kulit, suntikan, hidung dan mulut.

### **5.7.1 Melalui Mulut**

Jika melalui mulut racun sudah masuk ke dalam tubuh manusia, maka penanganannya ialah mengurangi absorpsi racun dari pencernaan, memberikan antidot dan eliminasi racun dari tubuh tingkatan.

### **5.7.2 Mengurangi Absorpsi**

Cara mengurangi racun dari saluran cerna dengan merangsang muntah, lambung dikuras, mengasorpsi racun dengan karbon aktif dan pembersihan usus.

#### **1. Merangsang muntah**

Akan berbahaya jika Apomorfina digunakan sembarangan sebab bisa menyebabkan depresi sistem saraf pusat dan sistem pernapasan. Sedangkan perangsang muntah Cu-Sulfat dan Na-

Klorida berbahaya dan sebaiknya tidak digunakan. Merangsang muntah dengan memasukkan jari tangan dan menggunakan perangsang muntah lain seperti bubuk mustard, telur mentah, air sabun atau detergen cair, diragukan keefektifannya. Yang paling efektif sebagai perangsang muntah ialah sirup ipeca, tapi jangan menggunakan ekstrak ipeca. Tidak efektifnya Sirup ipeca jika diberikan setelah pemberian karbon aktif.

Sirup ipeca dibuat dari akar kering *Cephaelis ipecacuanha* dan *Cephaelis acuminata* yang terkandung di dalamnya alkaloid emetin dan sefaelin. Emetin mempunyai efek langsung sebagai iritan pada mukosa lambung yang bisa membuat muntah dalam waktu 30 menit setelah diberikan dan muntah selanjutnya sebagai akibat efek sentral kedua alkaloid tersebut. Sebagai perangsang muntah sirup ipeca sangat efektif, tetapi bukti klinik menunjukkan kurang berarti dalam mengurangi absorpsi racun dari lambung.

Penggunaan sirup ipeca pada anak-anak juga tidak dianjurkan karena gejala keracunan hanya timbul pada beberapa anak. Pemberian sirup ipeca pada anak penderita keracunan tanpa gejala akan mengakibatkan muntah terus-menerus, diare, letargi, dan mengantuk. Merangsang muntah mungkin lebih efektif jika dibandingkan dengan menguras lambung. Pemberian sirup ipeca dalam waktu 1 jam setelah keracunan, racun yang dikeluarkan kembali kira-kira hanya 20 persen. Meskipun demikian, kepada penderita keracunan yang diakibatkan oleh bahan kimia toksik, sebaiknya tetap diberi sirup ipeca tanpa memerhatikan waktu keracunan.

#### **Penggunaan Sirup Ipeca :**

Indikasi: diutamakan pada penderita keracunan bahan kimia toksik. Kontra indikasi: Anak usia < 6 bulan, penderita koma, penderita yang tidak mempunyai refleks muntah, penderita keracunan basa kuat atau asam, penderita serosis dan trombositopenia, penderita yang selama keracunan juga menelan benda tajam seperti pecahan kaca, dan penderita yang sebelumnya sudah muntah-muntah.

Dosis: Dewasa, 30 ml. atau 2 sendok makan. Anak-anak: Usia 6-12 bulan, 10 mL atau 2 sendok teh. Usia > 12 bulan, 15 mL atau 1

sendok makan. Jika penderita belum muntah dalam waktu 30 menit, pemberian sirup ipeca dapat diulangi sekali lagi.

Catatan: Kepada penderita diberi minum beberapa gelas air. Untuk mencegah kemungkinan terjadi aspirasi ke dalam paru, sebaiknya penderita dalam posisi duduk atau letak kepalanya lebih tinggi.

Jika tidak tersedia sirup ipeca, dapat digunakan sirup yang terbuat dari:

- 1) Ekstrak ipeca liq 6 mL
- 2) Asam asetat encer 2,5 mL
- 3) Gliserin 10 mL
- 4) Sirup ad 100 mL Dosis:
  - Usia < 1 tahun 10 mL
  - 1 tahun 15 mL
  - 2 tahun 20 mL
  - 3 tahun 25 mL
  - 4 - 10 tahun 30 mL
  - 11 tahun - dewasa 50 mL.

## **2. Menguras lambung**

Pengosongan lambung dengan selang nasogastrik efektif jika digunakan dalam waktu 1 jam setelah intoksikasi. Pengosongan lambung tidak boleh pada pasien dengan asam kuat atau alkalosis, dan harus digunakan dengan hati-hati pada pasien dengan perdarahan. Untuk pasien dewasa, air hangat digunakan sebagai cairan drainase. Tambahkan 200-300ml air hangat sekaligus sampai airnya jernih. Jumlah air hangat yang dipakai biasanya antara 1-2 liter, namun bisa sampai 5-10 liter. Untuk anak-anak, gunakan 5-10 ml normal saline per kg berat badan. Selain air hangat dan garam, larutan elektrolit polietilen glikol dapat digunakan.

Setelah perut dikosongkan, arang aktif biasanya digunakan untuk menyerap sisa racun, dan dekonjestan atau pencahar usus digunakan untuk mengeluarkan racun yang sudah masuk ke usus. Arang aktif dan obat pencahar dapat diberikan melalui selang nasogastrik yang terhubung.

**Penggunaan Karbon Aktif :**

Indikasi:

Untuk mengabsorpsi racun di lambung. Kontra indikasi: Penderita keracunan asam atau basa kuat, dan penderita pendarahan diatesis

Dosis:

Dewasa dan anak-anak 1 g per kg berat badan Catatan:

- 1) Jangan memakai antidot universal
- 2) Karbon aktif dicampur dengan air, dengan perbandingan 1:4
- 3) Jika menggunakan sirup ipeca, jangan diberi karbon aktif sebelum sirup ipeca menunjukkan efeknya.
- 4) Jangan memberikan karbon aktif, jika diperkirakan akan menyerap antidot yang digunakan seperti N-asetilsistein.

### 3. Membersihkan Usus

Pembersihan usus memakai obat pencahar dalam senyawa garam (yaitu magnesium sulfat dan natrium sulfat). Pencahar non-ionik biasanya tidak digunakan untuk membersihkan usus karena diserap oleh karbon, yang menjadi tidak aktif. Laksan dalam bentuk minyak juga tidak dipakai sebab meningkatkan atau memfasilitasi penyerapan racun tertentu seperti pestisida dan hidrokarbon oleh tubuh.

#### **Penggunaan Mg-Sulfat Dan Na-Sulfat :**

Indikasi: membersihkan usus dari racun, dan juga merupakan antidot umum. Kontra indikasi: lleus yang adinamik, diare berat, trauma perut, obstruksi usus, gagal ginjal (Mg-sulfat) dan gagal jantung kongesti (Na-sulfat) Dosis:

Dewasa: Mg-sulfat atau Na-sulfat 30 g

Anak-anak: Mg-sulfat atau Na-sulfat 250 mg/kg berat badan

### 5.7.3 Meningkatkan Eliminasi

Eliminasi racun dapat ditingkatkan dengan diuresis basa atau asam, dosis multipel karbon aktif, dialisis, dan hemoperfusi. Pemberian antidot dapat meningkatkan eliminasi racun dari tubuh. Meskipun antidot kadang-kadang merupakan obat penyelamat nyawa penderita keracunan, penanggulangan keracunan tidak dapat diandalkan hanya dengan menggunakan antidot saja.

### **1. Diuresis basa**

Eliminasi golongan salisilat dapat ditingkatkan dengan diuresis basa, herbisida fenoksiasetat (asam 2,4-diklorofenoksiasetat, 2,4-D, dan mecoprop), fenobarbital, dan barbital. Membuat urine bereaksi basa lebih penting dari pemberian cairan infus dalam jumlah besar. Diuresis 500 mL per jam dalam jangka waktu lama dapat berbahaya. Sebelum membuat urine bereaksi basa, perlu dikoreksi kehilangan volume plasma, elektrolit, dan metabolik yang abnormal. Untuk maksud diuresis basa, biasanya digunakan larutan Na-bikarbonat 8,4 persen (1 mmol bikarbonat dalam 1 mL) dan diberikan sebagai infus untuk mendapatkan pH urine lebih dari 7,5 atau yang lebih baik lagi mendekati 8,5 karena diuresis basa merupakan prosedur metabolik yang invasif, maka perlu keahlian dalam pelaksanaannya dan dimonitor data biokimianya.

### **2. Diuresis asam**

Diuresis asam semula digunakan untuk meningkatkan eliminasi kina, kemudian diketahui dan terbukti tidak efektif. Demikian juga diragukan efeknya dalam meningkatkan eliminasi fensiklidin. Meskipun membuat urine bereaksi asam dapat meningkatkan eliminasi amfetamin, tetapi penggunaan obat dengan efek retardasi akan lebih mudah dan sederhana dalam mengatasi penderita keracunan amfetamin.

### **3. Dosis multipel karbon aktif**

Eliminasi obat-obat mempunyai volume distribusi kecil (< 1 liter per kg berat badan), pKa rendah, afinitas ikatan rendah, dan waktu paruh yang menjadi Panjang karena overdosis akan meningkat dengan menggunakan dosis multipel karbon aktif. Obat-obat tersebut antara lain asetosal, karbazepin, dapsone, fenobarbital, kina, dan teofilin. Sedangkan yang sukar diserap oleh karbon aktif antara lain asam, basa, sianida, etanol, methanol, etilen glikol, besi, dan litium. Karbon aktif juga dapat mengabsorpsi sediaan obat dari usus dan obat-obat yang disekresi ke dalam empedu, sehingga mencegah terjadinya reabsorpsi.

Selain itu, karbon aktif juga mengikat semua obat yang terdifusi ke dalam usus dari peredaran darah. Obat yang telah



diabsorpsi akan kembali terdifusi secara pasif ke dalam usus, jika obat dalam usus lebih rendah dari kadar obat dalam darah. Untuk orang dewasa, dosis permulaan sebanyak 50-100 g yang dilanjutkan dengan kecepatan tidak kurang dari 12,5 g per jam dan sebaiknya menggunakan pipa nasogastrik. Dosis lebih kecil sebanyak 10-25 g dapat digunakan untuk anak-anak. Jika penderita telah makan obat yang merangsang muntah (seperti teofilin), pemberian ondansetron secara IV akan efektif sebagai obat antimuntah, sehingga memungkinkan penggunaan karbon aktif.

#### **4. Dialisis dan hemoperfusi**

Untuk pasien dengan toksisitas plasma tinggi dan gejala klinis keracunan parah, eliminasi racun dapat ditingkatkan dengan dialisis dan hemoperfusi. Dialisis dan hemoperfusi kurang berguna untuk toksin dengan volume distribusi yang besar, seperti inhibitor trisiklik, karena konsentrasi plasmanya kurang dari jumlah total toksin dalam tubuh. Hemodialisis dapat meningkatkan eliminasi obat salisilat, litium, metanol, isopropanol, etilen glikol, dan etanol. Sedangkan dialysis peritoneal dapat meningkatkan eliminasi racun seperti etilen glikol dan metanol.

#### **5.7.4 Melalui Hidung**

Tindakan yang harus segera dilakukan untuk menangani racun yang masuk melalui hidung (inhalasi), ialah sebagai berikut.

1. Pindahkan penderita keracunan dari ruangan atau tempat yang terkontaminasi racun.
2. Jika dipandang perlu, trakeotomi bisa dilakukan.
3. Jika menggunakan alat resusiator dengan tekanan positif, kontrol tekanan darah secara terus-menerus diperlukan.

#### **5.7.5 Kontaminasi Kulit**

Jika kulit terkontaminasi atau terkena racun, segera siram dengan air untuk mengencerkan atau menghilangkan racun. Kecepatan dan volume air yang digunakan sangat menentukan kerusakan kulit yang terjadi, terutama jika terkena racun yang bersifat korosif dan bahan-bahan atau racun yang merusak kulit.

### **5.7.6 Kontaminasi Mata**

Mata yang terkontaminasi atau terkena bahan kimia harus dibilas atau dialiri air selama 15 menit. Dapat juga digunakan gelas pencuci hama, yang airnya sering diganti. Jangan sekali-kali ditetesi antidot senyawa kimia karena panas yang akan timbul dapat mengakibatkan kerusakan mata yang lebih parah. Selanjutnya, penderita segera dibawa ke rumah sakit untuk mendapatkan pemeriksaan dan pengobatan.

Bilas dengan air steril atau saline jika mata terkontaminasi bahan kimia di rumah sakit, diikuti dengan pemberian larutan fluorescein 2% steril. Jika kuning atau hijau, lanjutkan berkumur selama 5 menit dan segera konsultasikan ke dokter mata untuk pemeriksaan dan pengobatan selanjutnya. Usahakan agar mata yang terkontaminasi dirawat oleh dokter mata dalam waktu 2 jam.

### **5.7.7 Sengatan Dan Gigitan Ular Berbisa**

Jika Anda digigit ular berbisa, Anda dapat mengambil langkah-langkah untuk mencegah penularan dengan menerapkan torniket ke area tersebut atau menggigit sampai obat penawar racun ular tersedia. Dalam perjalanan ke rumah sakit, kendurkan torniket selama 30 detik setiap 15 menit. Tourniquet tidak boleh dipakai pada jari tangan atau kaki yang digigit ular berbisa. Sebagai alternatif, perban keras atau tekanan yang dapat dibiarkan selama berjam-jam dapat digunakan.

Upaya lain untuk memperlambat penyebaran dapat dilakukan dengan pendinginan lokal menggunakan es batu. Cara ini bisa berbahaya jika flu menyebabkan peradangan. Cara lain adalah dengan menyedot racun dari gigitan dan membuat sayatan sepanjang 1,5 cm dan 0,5 cm. Jika gigitan berlangsung lebih dari setengah jam, hisap tidak boleh dilakukan. Aspirasi dalam waktu 10 menit setelah digigit menghilangkan hingga 20% dari racun.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiwisastra. A., 1985. Keracunan : Sumber, Bahaya serta Penanggulangannya. Angkasa Bandung. Bandung.
- Ariens, E.J., Mutschler, F., Simon, A.M., 1993, *Pengantar Toksikologi Umum*, Diterjemahkan oleh Yoke R. Wattimena, Mathilda B. Widiyanto, Elin Yulinah Sukandar, Cetakan kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Beek, B., 2000, Bioaccumulation: New Aspects and Developments, In *Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 2: Reactions and Processes, Part J*, edited by Otto Hutzinger, Springer-Verlag, New York.
- Frank C.Lu., 1995, *Toksikologi Dasar: Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko*, Diterjemahkan oleh Edi Nugroho, Zumilda S. Bustami, Iwan Darmansyah, Edisi Kedua, Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Hodgson, Ernest, 2004, *A Textbook of Modern Toxicology*, 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Irianto, K., 2013, Pencegahan dan Penanggulangan Keracunan Bahan Kimia Berbahaya. Cet 1. Yrama Widya. Bandung.
- Koeman J.H., 1987, *Pengantar Umum Toksikologi*, Terjemahan oleh R.H. Yudono, UGM Press, Yogyakarta.
- Mukono, H.J., 2008, *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernafasan*, Cetakan Ketiga, Airlangga University Press, Surabaya.
- Mutschler, E., 1999, *Arzneimittelwirkungen: Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie; mit einführenden Kapiteln in die Anatomie, Physiologie und Pathophysiologie*, Unter mitarb, von Schäfer-Korting, -7 völlig neu bearb, und erw, Aufl., Wiss, Verl.-Ges, Stuttgart.
- Syam, Nasrudin, 2016, *Efek Toksik Xenobiotik*, Bahan Ajar Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muslim Indonesia.
- Wirasuta I.M.A.G., dan Niruri R., 2006, *Buku Ajar Toksikologi Umum*, Jurusan Farmasi FMIPA Universitas Udayana, Bali.

# **BAB 6**

## **BADAN ORGANISASI STANDARISASI TOKSIKOLOGI**

*Oleh Tri Yuni Iswati*

### **6.1 Pendahuluan**

Dalam proses pembangunan, peranan zat sangat besar karena mutlak diperlukan demi kelangsungan proses kegiatan, demi kesejahteraan, kemajuan dan kemakmuran bangsa. Zat kimia membantu kita membuat bahan - bahan baru yang kita perlukan dalam pembangunan seperti membuat bahan - bahan pakaian sintetik, misalnya rayon, nilon, dan tetoron, untuk menggantikan kapas, wol dan sutera alam yang produksinya tidak mencukupi lagi. Aplikasi penggunaan zat kimia juga merambah bidang pertanian, sebagai contoh penggunaan di berbagai macam pupuk, insektisida, dan pestisida untuk meningkatkan produksi pangan, berbagai macam obat telah ditemukan dan dibuat untuk menjaga kesehatan kita.

Akan tetapi di lain pihak zat kimia tersebut dapat menimbulkan akibat-akibat negatif yang tidak diinginkan seperti gangguan keselamatan, kesehatan dan kenyamanan kerja serta mengakibatkan pencemaran lingkungan maupun kerusakan peralatan kerja. Kegiatan yang menggunakan dan memproduksi zat kimia, mengeluarkan buangan berupa zat kimia dapat menyebabkan pencemaran udara di tempat kerja dan bisa berbahaya bagi tenaga kerja.

Untuk mengantisipasi efek negatif dari zat kimia yang kemungkinan terjadi di tempat kerja, maka perlu dilakukan upaya pencegahan dan perlindungan terhadap keselamatan dan kesehatan tenaga kerja. Salah satu upaya pencegahan tersebut adalah menetapkan standar terkait dengan pengelolaan bahan kimia maupun standar buangan yang ditimbulkan dari proses penggunaan bahan kimia dalam pembangunan.

Standar yang dikembangkan merupakan upaya untuk melindungi masyarakat dari pengaruh negatif yang tidak

diinginkan seperti gangguan keselamatan, kesehatan dan kenyamanan kerja serta mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Toksikologi dibagi menjadi 3 bidang spesifik:

- 1) *Toksikologi forensik* : mempelajari aspek medikolegal dari bahan kimia yang mempunyai efek membahayakan manusia/hewan sehingga dapat dipakai untuk membantu mencari/menjelaskan penyebab kematian pada penyelidikan seperti kasus pembunuhan.
- 2) *Toksikologi klinis* : bidang ilmu kedokteran yang memberikan perhatian terhadap penyakit yang disebabkan bahan toksik.
- 3) *Toksikologi lingkungan* : mempelajari efek dari bahan polutan terhadap kehidupan dan pengaruhnya pada ekosistem, yang digunakan untuk mengevaluasi kaitan antara manusia dengan polutan yang ada dilingkungan.

Perkembangan Toksikologi. Cabang ilmu Toksikologi antara lain:

1. Farmako Toksikologi  
Diperlukan untuk penelitian terhadap racun obat-obatan, merupakan ilmu toksikologi tertua
2. Toksikologi makanan dan kosmetika  
Untuk memenuhi kebutuhan pengawetan dan penyimpanan, agar produksi pangan dan kosmetika terus ditingkatkan
3. Toksikologi Pestisida  
Pestisida adalah racun yang sengaja dibuat oleh manusia untuk membunuh organisme pengganggu dan insekta penyebar penyakit  
Perlu dilakukan penelitian agar pestisida spesifik membunuh organisme target dan tidak mengganggu lingkungan termasuk manusia

## **6.2 Standar, Organisasi Dan Batas Aman**

Dalam bagian ini akan dibahas berbagai standar keamanan yang berlaku yang disajikan dalam beberapa topik, diantaranya adalah : 1. Badan organisasi standarisasi. 2. Standar penyehatan udara ambien. 3. Standar pengelolaan bahan kimia di tempat kerja. 4. Standar buangan kimia di perkantoran. 5. Standar buangan kimia di industri.

### 6.2.1 Badan Organisasi Standarisasi

Sebelum dibahas mengenai standar nilai ambang batas, terlebih dahulu perlu mengetahui badan atau organisasi internasional maupun nasional yang mengeluarkan standar tersebut. Pada bagian ini akan dipelajari organisasi/badan yang mengeluarkan standar baku mutu. Organisasi Internasional tersebut antara lain ACGIH (*The American Conference of Governmental Industrial Hygienists*), OSHA (*The Occupational Safety and Health Administration*), EPA (*Environmental Protection Agency*). Sedangkan standar keamanan organisasi nasional di Indonesia diantaranya adalah Standar Nasional Indonesia (SNI).

#### A. ACGIH (*The American Conference of Governmental Industrial Hygienists Industrial Hygienists*)

Di Indonesia batas paparan suatu bahan kimia yang digunakan masih mengacu pada batas paparan yang diterbitkan oleh ACGIH yang cara penentuannya berbeda dengan badan-badan lain. Adapun ACGIH mengeluarkan batas paparan dengan kriteria dan batasan :

1. *Threshold Limit Value - Time Weighted Average (TLV - TWA)*. Konsentrasi tertinggi dimana orang bisa bekerja dan terpapar terus menerus 8 jam sehari (40 jam seminggu) tanpa menderita akibat apapun.
2. *Threshold Limit Value - Time Exposure Limit (TLV - STEL)*. Konsentrasi tertinggi dimana orang bekerja tidak boleh lebih dari 15 menit dan tidak boleh diulang lebih dari 4 (empat) kali setiap hari dengan selang waktu paling tidak 60 (enam puluh) menit.
3. *Threshold Limit Value - Ceiling (TLV - C)*. Merupakan batas tertinggi suatu konsentrasi bahan di udara dimana manusia tidak boleh terpapar. Terhadap hal-hal tersebut diatas tentu saja telah menimbulkan suatu diskusi yang berkelanjutan mengenai perbedaan antara *Toxicity* (toksisitas/tingkat keracunan) dan *Toxic Hazard* (bahaya peracunan) suatu bahan kimia terhadap masyarakat umum. Ada suatu pemikiran yang sangat penting dari masyarakat pada umumnya yang masih berfikir bahwa bahan-bahan yang memiliki toksisitas yang tinggi sering

diasumsikan akan menimbulkan bahaya keracunan yang hebat tanpa memperhatikan sifat-sifat material lain dan keadaan di sekitar tempat tumpahnya. Umpamakan satu ton bahan yang berbeda wujudnya yaitu satu berbentuk padatan dan satunya lagi berwujud cair tumpah atau bocor. Bahan yang pertama adalah bahan padat yang tidak mudah menguap dan sangat beracun telah tumpah di tengah jalan di suatu daerah yang padat penduduknya. Hanya dengan 10 pound bahan tersebut sudah bisa membunuh 100.000 orang hanya dengan menghirup atau masuk ke dalam tubuh melalui makanan dalam porsi atau dosis yang sama. Kasus kedua adalah terbaliknya satu ton gas cair biasa yang mempunyai *toxicity moderate* di jalan yang sama. Apabila gas tersebut menguap ketika lepas di udara bebas maka 1 ton cairan gas tersebut akan berubah menjadi gas murni sebanyak 30.000 m<sup>3</sup> atau lebih. Jika gas tersebut bercampur merata dengan udara pada konsentrasi 500 ppm akan mengakibatkan kematian. Kemungkinan besar penyebaran uap yang mematikan tersebut menurut perkiraan akan mempunyai volume sebesar 6 juta *cubic feet*.

B. OSHA (*The Occupational Safety And Health Administration*)

OSHA merupakan bagian dari Departemen Tenaga Kerja Amerika Serikat yang dibentuk di bawah Undang Undang Keselamatan dan Kesehatan, yang ditandatangani oleh Presiden Richard M. Nixon, pada 29 Desember 1970. Tujuannya adalah untuk mencegah cedera yang berhubungan dengan pekerjaan, penyakit, dan kematian dengan mengeluarkan peraturan (standar) untuk kesehatan dan keselamatan kerja.

OSHA merupakan lembaga federal Amerika Serikat di Departemen Tenaga Kerja. OSHA bertujuan untuk keselamatan dan kondisi kerja yang sehat bagi karyawan untuk mengurangi kematian dan kecelakaan yang terjadi di tempat kerja. Dua fungsi utama yang diberikan oleh OSHA adalah: menetapkan standar dan melakukan inspeksi tempat kerja untuk memastikan apakah pengusaha sesuai standar dalam menyediakan tempat kerja yang aman dan sehat.

Standar OSHA memerlukan praktik akal dan protektif, metode, dan proses kerja bagi kesejahteraan karyawan. OSHA memastikan jika persyaratan bagi karyawan disediakan oleh pengusaha atau tidak. Menurut OSHA, pengusaha harus menjadi ramah dan disiplin dengan standar. Jika tempat kerja tidak higienis dan berbahaya bagi karyawan untuk bekerja, maka mereka harus meminimalkannya atau menghilangkannya.

Fungsi Kedua, OSHA melakukan pemeriksaan apakah peralatan yang digunakan oleh pengusaha mempunyai pelindung atau tidak. Karyawan berhak untuk mengetahui semua aturan dan peraturan yang berlaku untuk keamanan mereka sendiri.

OSHA telah menyediakan dua jenis program: 1. OSHA Konstruksi dan Kursus 2. OSHA Industri Kursus Umum. OSHA Konstruksi dan Kursus adalah pelatihan keselamatan bagi pekerja konstruksi Industri. Tujuan dari program ini adalah untuk menginformasikan pegawai mengenai orientasi keselamatan dan kesehatan yang dibutuhkan oleh OSHA. *OSHA General Industry Course* adalah program keamanan komprehensif yang membantu para pekerja di industri umum. Kedua program mencakup semua persyaratan OSHA. OSHA kursus ini tersedia baik di kelas dan juga online. Kursus dilakukan dalam bahasa Inggris dan juga dalam bahasa Spanyol. OSHA telah melakukan suatu bantuan besar bagi pengusaha dan karyawan dengan membuat mereka waspada dan bertanggung jawab atas lingkungannya.

C. EPA (*Environmental Protection Agency*)

*U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA) atau Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat adalah sebuah lembaga pemerintah federal Amerika Serikat yang bertugas melindungi kesehatan manusia dan lingkungan dengan merumuskan dan menerapkan peraturan berdasarkan undang-undang yang disahkan oleh Kongres. EPA dicanangkan oleh Presiden Richard Nixon dan memulai operasinya tanggal 2 Desember 1970 ketika pendiriannya disahkan oleh Kongres, dan disetujui oleh Presiden Nixon, dan sampai sekarang terus bertanggung jawab atas kebijakan lingkungan Amerika Serikat. Lembaga ini dipimpin oleh pengurusnya, yang ditunjuk oleh Presiden Amerika Serikat. EPA bukanlah lembaga Kabinet, tetapi pengurusnya diberikan



peringkat kabinet seperti biasa. Scott Pruit adalah pengurus saat ini. Lembaga ini memiliki sekitar 18.000 karyawan penuh waktu (EPA, 2017)

D. SNI (Standar Nasional Indonesia)

Standar Nasional Indonesia adalah satu-satunya standar yang berlaku secara nasional di Indonesia. SNI dirumuskan oleh Komite Teknis (dulu disebut sebagai Panitia Teknis) dan ditetapkan oleh BSN. Agar SNI memperoleh penerimaan yang luas diantara para *stakeholder*, maka SNI dirumuskan dengan memenuhi *WTO Code of Good Practice*, yaitu: 1. *Openness* (keterbukaan) Terbuka artinya agar semua *stakeholder* yang berkepentingan dapat berpartisipasi dalam pengembangan SNI; 2. *Transparency* (transparansi) Transparan agar semua *stakeholder* yang berkepentingan dapat mengikuti perkembangan SNI mulai dari tahap pemrograman, perumusan sampai ke tahap penetapannya . Dan dapat dengan mudah memperoleh semua informasi yang berkaitan dengan pengembangan SNI; 3. *Consensus and impartiality* (konsensus dan tidak memihak) Tidak memihak dan konsensus agar semua *stakeholder* dapat menyalurkan kepentingannya dan diperlakukan secara adil; 4. *Effectiveness and relevance* Efektif dan relevan agar dapat memfasilitasi perdagangan karena memperhatikan kebutuhan pasar dan tidak bertentangan dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku; 5. *Coherence* Koheren dengan pengembangan standar internasional agar perkembangan pasar negara kita tidak terisolasi dari perkembangan pasar global dan memperlancar perdagangan internasional. 6. *Development dimension* (berdimensi pembangunan) Berdimensi pembangunan agar memperhatikan kepentingan publik dan kepentingan nasional dalam meningkatkan daya saing perekonomian nasional. Badan tersebut perlu diketahui untuk menentukan nilai ambang batas (toleransi) akibat cemaran/toksikan baik di lingkungan atau pada manusia. Peruntukan masing-masing standar berbeda sesuai kebutuhan yang akan kita gunakan menjadi patokan ambang cemaran toksikan (Yulianto & Amaliyah 2017).

## 6.2.2 Standar Penyehatan Udara Ambien

### 1. Klasifikasi Toksikan

Klasifikasi Toksikan meliputi: 1. Target organ : hati, ginjal, paru-paru dan lain lain, 2. Penggunaan : pestisida, pelarut, *food additive*, 3. Sumber : tumbuhan, hewan, 4. Bentuk fisik : gas, cair, debu, 5. Label kegunaan : bahan peledak mudah terbakar, 6. Struktur kimia : hidrokarbon, halogen, 7. Potensi/ daya racun : organofosfat lebih toksik dari karbonat, 8. Mekanisme biokimia : iritan, korosif, polutan udara/air

### 2. Gejala-Gejala Keracunan

Gejala Toksikan meliputi: GEJALA NON SPESIFIK dan GEJALA SPESIFIK;

- 1) GEJALA NON SPESIFIK meliputi: Pusing, Mual, Muntah, Gemetar, Badan lemas, Pandangan berkunang-kunang, Sukar tidur, Nafsu makan berkurang, Sukar konsentrasi
- 2) GEJALA SPESIFIK meliputi :Sesak nafas, Muntah, Sakit perut, Diare, Kejang-kejang, Kram perut, Gangguan mental, Kelumpuhan, Gangguan penglihatan, Air liur berlebihan, Nyeri otot, Koma

### 3. Nilai Ambang Batas dan Nilai Tertinggi yang Diperkenankan

Nilai Ambang Batas Dan Nilai Tertinggi Yang Diperkenankan

- 1) Perlu adanya pengetahuan tentang kadar zat-zat kimia
- 2) Pengetahuan tentang kadar dimana pekerja dapat bereaksi secara faal terhadap bahan kimia dengan kadar tersebut.
- 3) Kadar Tertinggi Diperkenankan (KTD);
- 4) *Maximum Allowable Concentration* (MAC) :
  - Nilai tertinggi dari kadar suatu zat yg pekerja tidak menderita penyakit atau gangguan kesehatan
  - Lebih menekan efek akut daripada efek kumulatif

Nilai ambang Batas (NAB); Threshold Limit Value (TLV) :

- Kadar dimana pekerja sanggup menghadapinya dengan tidak menunjukkan penyakit atau kelainan dalam pekerjaan mereka sehari-hari untuk waktu 8 jam sehari dan 40 jam seminggu

- Menunjukkan kadar dimana manusia dapat bereaksi fisiologis terhadap suatu zat
- Disusun oleh negara bersangkutan
- Di Amerika ditetapkan oleh *Governmental Industrial Hygienists Association*

### 6.2.3 Klasifikasi Racun Industri Ditentukan Dengan Besarnya LD50

LD50 : besarnya dosis racun yang diberikan kepada binatang percobaan yang mengakibatkan 50% dari binatang tersebut mati.

Kurva dosis-respons tersebut dapat digunakan dalam penentuan berbagai parameter keamanan dan bahaya toksikan, di antaranya adalah nilai 50% *lethal dose* (LD50), 50% *lethal concentration* (LC50), 50% *inhibition concentration* (IC50), serta NOAEL.

**LD50** merupakan dosis toksikan di mana 50% dari populasi percobaan menunjukkan efek letal atau mematikan. Satuannya adalah mg/kg berat badan

**LD50** kemudian digunakan untuk mengelompokkan toksikan ke dalam kategori toksisitas relatif seperti pada tabel berikut.

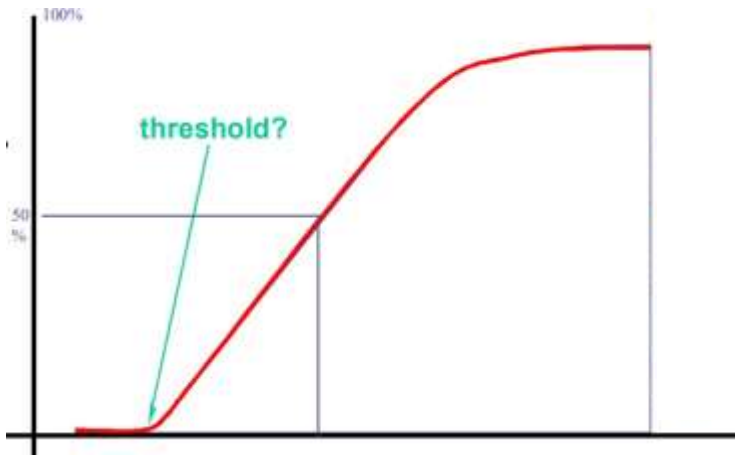
**LC50** merupakan konsentrasi toksikan di udara di mana 50% dari populasi percobaan menunjukkan efek letal.

**Tabel 6.1 : Kategori Toksisitas Relatif**

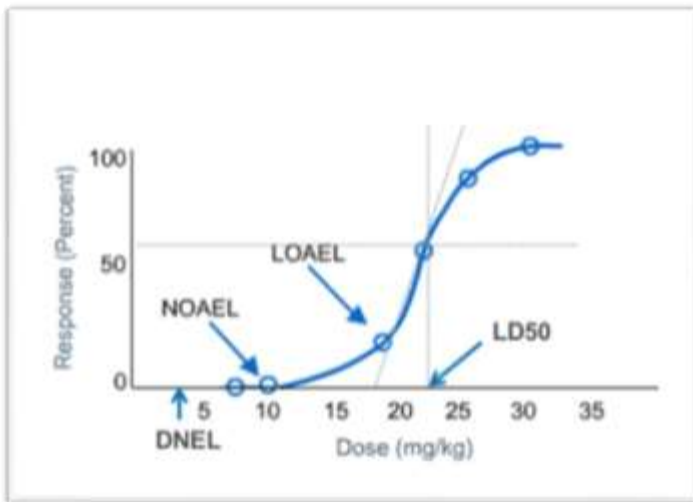
Kategori	dosis		
	Oral (LD50 mg/kg berat badan)	Dermal (LD50 mg/kg berat badan)	Inhalasi (LC50 mg/m <sup>3</sup> )
Supertoksik	< 5	< 250	< 250
Amat sangat toksik	5–50	250–1.000	250–1.000
Sangat toksik	50–500	1.000–3.000	1.000–10.000
Toksik sedang	500–5.000	3.000–10.000	10.000–30.000
Toksik ringan	5.000–15.000	10.000–100.000	> 30.000
Praktis tidak toksik	> 15.000	> 100.000	

**IC50** adalah konsentrasi sebuah toksikan yang menghambat atau mengurangi 50% efek toksik.

**EC50** adalah konsentrasi sebuah toksikan yang memberikan 50% dari respons maksimal.



**Gambar 6.1** : Kurva Dosis-Respons, *Threshold* (Nilai Ambang), dan NOAEL. Sumber: Klaassen, 2013



**Gambar 6.2** : Kurva Dosis-Respons, *Threshold* (Nilai Ambang), dan NOAEL. Sumber: Klaassen, 2013

Keterangan:

DNEL= *derived-no-effect level*

NOAEL= *no-observed-adverse-effect level*

LOAEL=*lowest-observed-adverse-effect level*

LD50= *lethal dose 50%*

Sumber:chemsafetypro.com

Secara umum, prinsip yang berlaku dalam hubungan dosis-respons adalah sebagai berikut ;

- Respons disebabkan oleh toksikan yang diuji.
- Tingkat respons berbanding lurus dengan konsentrasi toksikan.
- Terdapat metode untuk menghitung dan menyajikan toksisitas.

Selain beberapa parameter keamanan dan bahaya di atas, dikenal beberapa terminologi lain yang berkaitan dengan tingkat pengaruh toksisitas suatu toksikan, yaitu:

- *No Observable Effect Level* (NOEL), yaitu dosis yang terlihat tanpa efek;
- *No Observable Adverse Effect Level* (NOAEL), yaitu nilai yang pada dosis tersebut tidak ditemukan efek buruk;
- *Lowest Observable Adverse Effect Level* (LOAEL), yaitu dosis terendah yang memperlihatkan efek buruk;
- *Virtually Safe Dose* (VSD), yaitu dosis yang secara praktis aman; dan
- *Generally Recognized as Safe* (GRAS), yaitu dosis yang secara umum dianggap aman.

Untuk memudahkan pemahaman terkait dosis-respons, beberapa contoh dosis normal yang tidak berdampak pada manusia disajikan pada Tabel 6.2. Tabel ini menunjukkan bahwa dosis normal tidak berdampak kematian, namun pada dosis letal dapat mengakibatkan kematian.

**Tabel 6.2 :** Dosis Normal dan Dosis Letal Bahan-bahan Umum

<b>Substansi</b>	<b>Dosis Normal</b>	<b>Dosis Letal</b>	<b>Safety Factor</b>
Air	1,5 kuart (qt.)	15 kuart (qt.)	10

Aspirin (Asam salisilat)	2 tablet	90 tablet	40
Bir (etylalkohol)	1 bir	33 bir	33
Garam (sodium klorida)	3 sendok teh	60 teh sendok	20
Kacang Lima (sianida penyajian) per	1,18 mg	106 mg	90

Kegunaan Nilai Ambang Batas ;

1. Pedoman Standar Paparan untuk bekerja dengan selamat
2. Pedoman perencanaan proses produksi dan perencanaan teknologi pengendalian
3. Mengetahui daya racun dan tingkat potensi bahaya bahan-bahan
4. Substitusi bahan yang kurang berbahaya
5. Membantu menentukan gangguan kesehatan, timbulnya penyakit, hambatan efisiensi kerja.

**Tabel 6.3 : NAB Di Udara Tempat Kerja**

Senyawa kimia	Ppm Bds
Klorin (Cl <sub>2</sub> )	0.5
Asam Klorida	5 (ktd/STEL)
Hidrogen Sulfida	10
Karbon Monoksida	25 (50 Kap Menaker)
Ammonia (NH <sub>3</sub> )	25
Toluene	50
Gasoline	300
Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )	5000

Sumber: SNI 1902322005

Pp: part per million, bds: bagian dalam sejuta

Sumber Nilai Ambang Batas- Bahan Kimia ;

1. Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja RI SE 01/MEN/1997 tentang Mabang Batas Faktor Kimia di Udara lingkungan Kerja
2. SNI 19-0232-2005: NAB Zat Kimia di udara tempat kerja
3. TLV-ACGIH *American Conference of Governmental Industrial Hygienist*
4. MAC-NIOSH *National Institute for Occupational Health and Safety*
6. PEL- OSHA *Occupational Safety Health Agency*
7. ILO *International Labor Organization*
8. MSDS *Material Safety Data Sheets*

Nilai Ambang Batas (NAB);

NAB atau *Threshold Limit Value*(TLV) adalah konsentrasi zat-zat kimia di udara dimana hampir semua orang yang terpapar berulang kali dalam jangka waktu lama tidak menimbulkan efek yang merugikan

1. *Threshold Limit Value -Time Weight Average* (TLV-TWA ) yaitu konsentrasi rata rata untuk 8 jam kerja normal dan 40 jam seminggu dimana hamper seluruh yang terpapar tanpa timbulnya gangguan yang merugikan
2. *Threshold Limit Value-Short Term Exposure Limit* (TLV-STEL) yaitu konsentrasi dimana orang terpapar terus menerus untuk jangka pendek (15 menit) tanpa mendapat gangguan atau mengurangi efisiensi

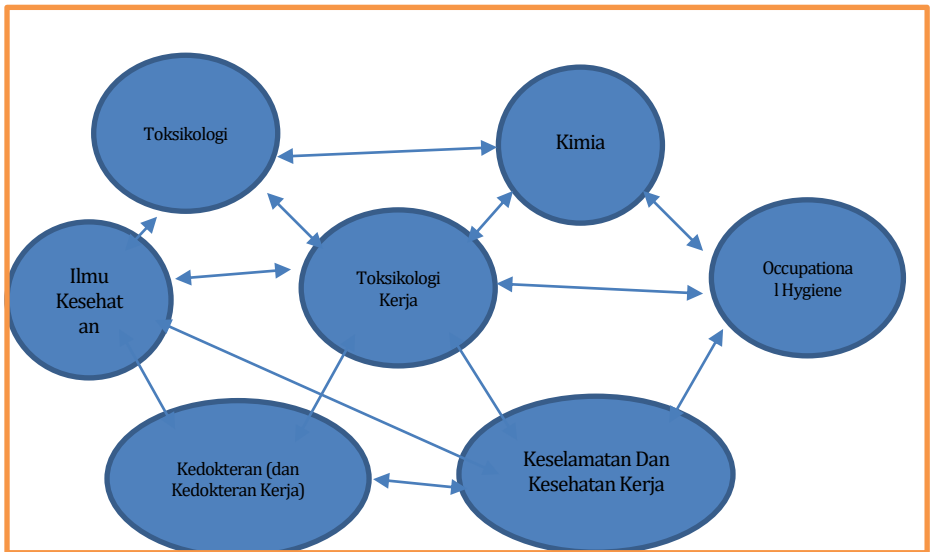
3. *Threshold Limit Value-Ceiling (TLV-C)* yaitu konsentrasi yang tdk boleh dilampaui setiap saat

Digunakan sebagai pedoman dalam mengendalikan bahaya-bahaya kesehatan ;

Definisi;

- Bahaya Kimia merupakan bahaya yang berasal dari bahan kimia yang ada di tempat kerja
- Bahan Kimia Berbahaya adalah bahan kimia dalam bentuk tunggal atau campuran yang berdasarkan sifat kimia fisika dan atau toksikologi berbahaya terhadap tenaga kerja instalasi dan lingkungan
- Nilai ambang kuantitas yang selanjutnya disebut NAK adalah standar kuantitas bahan kimia berbahaya untuk menetapkan potensi bahaya bahan kimia ditempat kerja

Sumber: Kep 187/Men/ 1999 tentang pengendalian bahan kimia berbahaya di tempat kerja Sumber: (Men LH, 1999)Kep 187/Men/ 1999 tentang pengendalian bahan kimia berbahaya di tempat kerja (Men LH, 1999)



**Gambar 6.3** : Keterkaitan ilmu Toksologi dan ilmu-ilmu lain (Winder dan Stacey, 2005)



#### 6.2.4 Usaha-Usaha Preventiv

Beberapa hal yang bisa dilakukan kaitannya dengan usaha preventiv adalah :

1. Manajemen program pengendalian sumber bahaya; perencanaan, organisasi, control peralatan dan lain-lain.
2. Penggunaan APD; masker, kacamata, pakaian khusus, krim kulit, sepatu dan sebagainya.
3. Ventilasi yang baik,
4. Maintenance; pemeliharaan yang baik dalam proses produksi, kontrol dan sebagainya.
5. Membuat label dan tanda peringatan terhadap sumber bahaya.
6. Penyempurnaan produksi :
  - a. Mengeliminasi sumber bahaya dalam proses produksi,
  - b. Mendesain produksi berdasarkan K3,
  - c. Pengendalian/peniadaan debu; memasang *dust collector* di setiap produksi yang menghasilkan debu,
7. Isolasi,
8. Operational praktis
9. Inspeksi K3 :
  - a. Analysis K3,
  - b. Kontrol administrasi;
10. Administrasi yang sehat.
11. Pengurangan jam12 pemaparan.
- 12 Housekeeping; kerumahtanggaan yang baik, kebersihan, kerapian, pengontrolan lingkungan kerja
13. Pemeriksaan kesehatan; awal, periodik, khusus dan screening serta monitoring biologis,
  - b. Pendidikan; pendidikan
14. Monitoring,
  - a. Sanitasi; hygiene perorangan, kamar mandi, pakaian,
  - b. Eliminasi; pemindahan sumber bahaya,
  - c. Enclosing; menangani sumber bahaya.

## DAFTAR PUSTAKA

- BSN. 2005. "SNI 1902322005 : NAB Zat Kimia di udara tempat kerja."
- Klaassen, C. 2013. *Casarett and Doull's Toxicology The Basic Science of Poisons*. 8th ed. New York: Mc Graw Hill.
- Men LH. 1999. "Kep 187/Men/ 1999 tentang pengendalian bahan kimia berbahaya di tempat kerja."
- Menteri Tenaga Kerja. 1997. "Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja RI SE 01/MEN/1997 tentang Ambang Batas Faktor Kimia di Udara lingkungan Kerja." Jakarta.
- Winder, S. 2005. *Occupational Toxicology*. 2th ed. London: CRC Press.
- Yadav, S.K. 2013. "Dose - response models to understand toxicodynamics for pollutants in ecosystems," *International Journal of Environment Science: Development and Monitoring*, 4(3), hal. 77-80.
- Yulianto, Y. dan Nurul, A. 2017. "Toksikologi Lingkungan." repository.stikeshb.ac.id. Tersedia pada: [http://repository.stikeshb.ac.id/49/1/ToksiologiLingkungan\\_k1\\_restu.pdf](http://repository.stikeshb.ac.id/49/1/ToksiologiLingkungan_k1_restu.pdf).



# **BAB 7**

## **STANDAR PENYEHATAN UDARA AMBIEN**

*Oleh Musfirah*

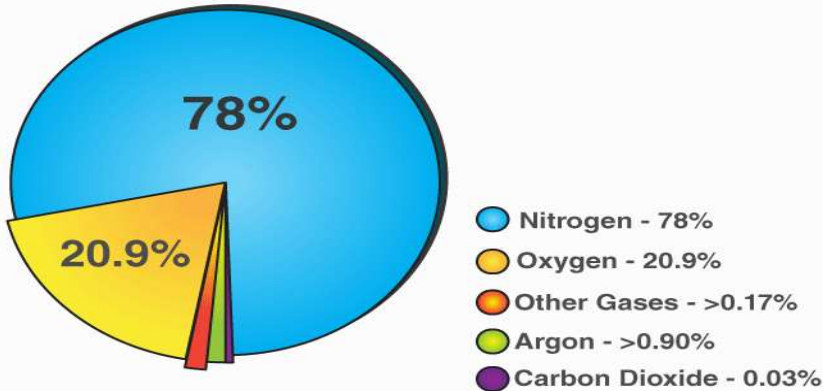
### **7.1 Pendahuluan**

Pencemaran udara menunjukkan adanya perubahan komposisi susunan alamiah udara yang ada di lapisan atmosfer bumi. Faktor penyebab terjadinya udara tercemar yaitu adanya aktivitas antropogenik yang menghasilkan emisi gas yang terlepas ke udara ambien dan aktivitas alamiah akibat adanya gunung meletus, kebakaran hutan, dan fenomena alam lainnya. Penyehatan udara ambien perlu dilakukan untuk mengendalikan pencemaran udara ambien yang terjadi sehingga mencegah dampak kesehatan yang berkelanjutan.

Kualitas udara ambien menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/Setjen/Kum.1/7/2020 dapat diidentifikasi menggunakan Indeks Standar Pencemar Udara yang menunjukkan kondisi mutu dari udara ambien daerah atau titik tertentu. Status warna pada ISPU menjadi indikator penting yang menunjukkan tingkat risiko yang ada akibat pencemaran udara yang ada. Lokasi pemantauan dapat dilakukan pada pusat keramaian lalu lintas, pusat perkotaan, sub-urban, sekitar kawasan industri, pedesaan, serta lokasi lainnya yang terdapat sumber pencemar tertentu yang akan berakibat serius terhadap kesehatan masyarakat, estetika, dan makhluk hidup lainnya.

### **7.2 Konsep Pencemaran Udara Ambien**

Atmosfer bumi merupakan suatu ekosistem penting yang menjadi tempat hidup dari manusia dan makhluk hidup lainnya. Atmosfir bumi terdapat udara yang terdiri dari campuran gas-gas yang mengelilingi lapisan atmosfer tersebut. Atmosfer bumi sangat tergantung pada kondisi kualitas udara yang mengelilinginya.



**Gambar 7.1** : Komposisi alamiah udara ambien

(Sumber : Byjus, 2020)

Dengan demikian, berdasarkan ilustrasi gambar 7.1 bahwa atmosfer bumi merupakan lautan gas-gas yang terdiri dari 78% nitrogen, 21% oksigen dan 1% gas dan uap air lainnya. Atmosfer bumi berperan dalam menunjang kehidupan makhluk hidup yang terdapat di permukaan bumi yang diantaranya sebagai suplai gas yang dibutuhkan, mencegah pendinginan dan pemanasan bumi. Jika terjadi penurunan kualitas udara akibat pencemaran atau emisi gas pada udara ambien, dapat menyebabkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia, tumbuhan, hewan dan abiotik lainnya (Prabowo & Muslim, 2018).

Pencemaran udara mayoritas terjadi di berbagai kota besar di Indonesia. Sumber pencemaran udara yang berasal dari aktivitas antropogenik manusia seperti emisi gas dari aktivitas transportasi, industri, pertambangan, pemukiman, dan perkantoran. Berbagai aktifitas tersebut akan berkontribusi terhadap pencemaran udara jika diemisikan bebas ke udara tanpa melalui proses pengelolaan limbah gas. Selain itu, sumber pencemaran alamiah seperti adanya gunung meletus, kebakaran hutan, dan aktivitas alamiah lainnya. Partikel juga dapat terlepas ke udara oleh aktivitas manusia seperti eksplorasi pertambangan, proses industri dan pembakaran hutan dengan tujuan untuk pembukaan lahan. Terjadinya pencemaran udara yang bersumber dari aktivitas antropogenik dan alamiah yang terjadi secara terus menerus akan menyebabkan degradasi lingkungan yang memicu

menurunnya kualitas udara ambien yang akan berdampak bagi kesehatan masyarakat jika terpapar melalui pajanan inhalasi.

### **7.3 Parameter Kualitas Udara Ambien**

Kualitas udara ambien sangat ditentukan oleh keberadaan hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), Karbon monoksida (CO), dan gas-gas  $NO_x$ ,  $SO_x$ ,  $NH_3$  serta partikulat yang terlepas ke udara akibat proses pembusukan sampah organik, aktivitas vulkanik dan kebakaran hutan (Prabowo & Muslim, 2018). Parameter kualitas udara ambien yang umum dipantau secara berkala yaitu oksidan/ozon di permukaan, karbon monoksida, bahan partikulat, sulfur dioksida, nitrogen oksida (KLHK, 2019). Selain itu regulasi ini dapat diturunkan untuk regulasi tingkat provinsi seperti Keputusan Gubernur Nomor 153 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Udara Ambien, umumnya parameter zat pencemar yang dipantau yaitu  $NO_2$ ,  $SO_2$ , Karbon Monoksida (CO), Oxidant (Ox), Timah hitam (Pb), Hidrokarbon (HC) dan PM10. Namun, untuk parameter-parameter dasar dalam indeks standar pencemar udara (ISPU), yaitu hanya mengukur parameter  $NO_2$ ,  $SO_2$ , Karbon Monoksida (CO), Ozon ( $O_3$ ), dan PM10 yang memiliki dampak kesehatan terhadap suatu komunitas atau populasi tertentu.

### **7.4 Metode Pengukuran & Pemantauan Kualitas Udara Ambien**

Tahapan pertama dalam pemantauan kualitas udara yaitu menentukan lokasi/titik/stasiun pengambilan sampel udara ambien dan menentukan tempat peralatan sampling sesaat maupun yang kontinyu. Tahapan selanjutnya yaitu pengambilan sampel udara ambien. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan titik pemantauan udara ambien sebagai berikut (Khalid, 2020) :

- a. Lokasi memiliki konsentrasi pencemar tinggi;
- b. Lokasi yang memiliki kepadatan populasi penduduk tinggi;
- c. Sekitar lokasi penelitian sebagai peruntukan dalam kawasan studi;
- d. Lokasi dengan proyeksi pembangunan untuk menilai dampak dan risiko lingkungan yang akan datang;
- e. Lokasi yang mewakili seluruh wilayah studi;
- f. Seluruh sebaran wilayah yang memungkinkan untuk dipantau

Pada saat penambihan contoh udara harus memperhatikan aspek sebagai berikut :

- a. Peralatan diletakkan pada gedung/bangunan rendah dan saling berjauhan;
- b. Jika sampling udara yang sifatnya berkelanjutan, maka pemilihan lokasi tetap mempertimbangkan aspek perubahan kondisi fungsi area pada masa mendatang;
- c. Lokasi terhindar dari pengganggu kimia lainnya terhadap polutan yang akan diukur;
- d. Lokasi terhindar dari pengganggu fisika misalnya akan menurunkan keabsahan hasil pengukuran debu, jauh dari insinerator, jaringan listrik tegangan tinggi dan sebagainya;
- e. Lokasi terhindar dari kondisi yang dapat mengubah konsentrasi sampel yang diukur sebab adanya adsorpsi serta absorpsi akibat berdekatan dengan gedung dan pepohonan.

#### 7.4.1 Indeks Kualitas Udara

Indeks Kualitas Udara (IKU) menggunakan metodologi perhitungan yang mengacu dari Program European Union (EU) melalui *European Regional Development Fund* pada Regional Initiative Project yaitu *“Common Information to European Air”* dengan judul *“CAQI Air Quality Index : Comparing Urban Air Quality across Borders-2012”*

**Tabel 7.1 :** Standar Kualitas Udara Berdasarkan *EU directives*

Air Quality	(I <sub>EU</sub> )
EU Standards telah melebihi standar terhadap satu atau lebih pencemar udara	>1
EU Standards berada pada kondisi rata-rata	1
Kondisi lebih baik dari kondisi rata-rata	<1

Sumber : *CAQI Air Quality Index* dalam (KLHK, 2019)

**Tabel 7.2 :** Baku Mutu Udara Berdasarkan WHO

No	Pollutants	Target Value/Limit Value
1	PM <sub>10</sub>	10 daily number of daily averages above 50µg/m <sup>3</sup> is 35 days
2	NO <sub>2</sub>	Year average is 40 µg/m <sup>3</sup>
3	PM	0 year average is 40 µg/m <sup>3</sup>
4	Ozone	25 days with an 8 hour average value ≥

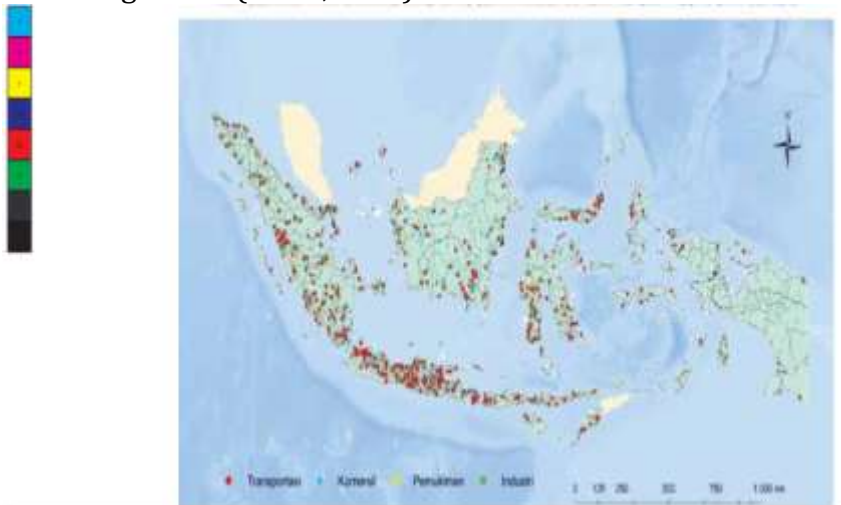
No	Pollutants	Target Value/Limit Value
		120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
5	Benzene	Year average is 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
6	PM 2,5	2,5 year average 20 is $\mu\text{g}/\text{m}^3$
7	CO	-
8	SO <sub>2</sub>	Year average is 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sumber : WHO dalam (KLHK, 2019)

Indeks ini dikalkulasi untuk data rata-rata perjam, harian dan tahunan. Perhitungan indeksnya dilakukan dengan membandingkan nilai rata-rata tahunan terhadap standar *EU Directives*. Standar kualitas udara dapat disajikan pada Tabel 7.1. Selanjutnya indeks kualitas udara model EU dikonversikan menjadi Indeks Kualitas Udara (IKU) melalui persamaan sebagai berikut :

$$\text{IKU} = 100 - [(50/0,9) \times (\text{IEU} - 0,1)]$$

Rumus tersebut diaplikasikan dalam data yang menunjukkan kualitas udara berdasarkan data konsentrasi pencemar. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu konversi ke dalam konsentrasi kualitas udara lalu dikurangi 100% (KLHK, 2019).

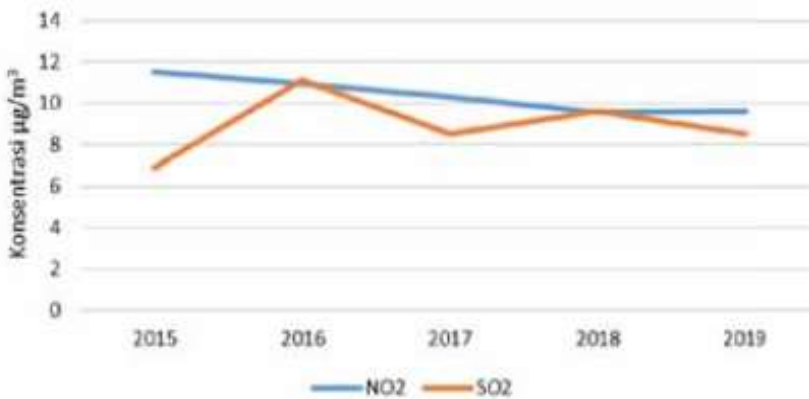


**Gambar 7.2 :** Peta Sebaran Titik Pemantauan Kualitas Udara Ambien di berbagai Kabupaten/Kota di Indonesia

(Sumber : KLHK, 2019)



Data kualitas udara merupakan hasil pengukuran langsung yang mewakili daerah dengan kriteria titik sampling yaitu area padat transportasi, industri, pemukiman, dan perkantoran yang tersebar pada 427 Kabupaten/Kota, 34 provinsi di Indonesia. Pemilihan lokasi sampling setiap Kabupaten/Kota tidak boleh berada dalam lokasi yang sama, minimal berjarak 1 kilometer dari titik yang satu dengan titik lainnya. Titik sampling pemantauan kualitas udara seluruh Kabupaten/Kota di Indonesia pada tahun 2019 sebanyak 1726 titik yang terbagi menjadi 427 titik pada area industri, 431 titik aktivitas transportasi, 437 titik pada area perkantoran, dan 431 titik untuk area pemukiman.



**Gambar 7.3 :** *Trend* Konsentrasi Rata-rata NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> Nasional Tahun 2015-2019. (Sumber KLHK, 2019)

Metode pengukuran yang digunakan yaitu *passive sampler* dengan durasi waktu minimal 28 hari per tahun yang digabung dengan pemantauan udara ambien otomatis kontinu (AQMS). Parameter yang dipantau saat itu yaitu NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> sehingga diperoleh indeks rata-rata tahunan. Kualitas udara yang tertinggi terdapat pada 3 (tiga) Provinsi yaitu Jawa Barat (cukup baik), Banten (cukup baik), dan DKI Jakarta (kurang baik) perlu dikendalikan dan ditingkatkan kualitasnya untuk meningkatkan IKLH Nasional. Hasil pemantauan kualitas udara untuk NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> seperti yang disajikan pada gambar 7.3 masih berada di bawah ambang batas tahunan WHO yaitu 40 µg/m<sup>3</sup> untuk NO<sub>2</sub> dan 20 µg/m<sup>3</sup> untuk SO<sub>2</sub>.

Upaya evaluasi tingkat keberhasilan program pengendalian pencemaran udara yang diimplementasikan oleh pemerintah daerah maupun pusat dengan cara melakukan kegiatan pemantauan udara ambien. Hasil pemantauan tersebut menjadi faktor penentu untuk prioritas program pengendalian udara yang patut dilakukan. Metode otomatis kontinyu (AQMS) dan manual (*passive sampler*) merupakan beberapa metode pemantauan mutu udara ambien oleh pihak Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara. Metode *passive sampler* pertama kali dikembangkan di Inggris dengan menggunakan *Pb Candle* untuk menyerap polutan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) di udara ambien, lalu dilakukan uji laboratorium untuk mengukur kadar/konsentrasi sulfur dioksida yang terukur. Seiring dengan pengembangan teknologi yang semakin memadai, unsur Pb disubstitusi dengan bahan kimia ramah lingkungan yang memiliki karakteristik yang sama. Metode *passive sampler* ini umum diterapkan di Jepang, Australia, Eropa, maupun jaringan EANET dalam kegiatan pemantauan kualitas udara ambien (Chaniago & Zahara, 2020).

#### **7.4.2 Indeks Standar Pencemar Udara**

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) merupakan angka tanpa satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu berdasarkan dampak dan risiko kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Informasi dalam ISPU dapat menjadi *early warning system* atau sistem peringatan dini bagi masyarakat sekitar utamanya pada daerah rawan terjadi kebakaran hutan dan lahan. ISPU bertujuan untuk memberikan keseragaman informasi mutu udara ambien sehingga memudahkan masyarakat dalam akses informasi tersebut dalam suatu waktu dan wilayah tertentu. Hal ini menjadi bahan pertimbangan dalam implementasi upaya pengendalian pencemaran udara bagi pemerintah pusat maupun daerah (Chaniago, dkk., 2020).

Regulasi pemerintah menjabarkan bahwa ada 7 (tujuh) parameter yang masuk dalam perhitungan ISPU yakni PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, dan HC. Penambahan 2 (dua) parameter terbaru dibandingkan dengan regulasi sebelumnya yakni PM<sub>2.5</sub> dan HC. Penambahan parameter tersebut atas dasar ilmiah bahwa besarnya resiko HC dan PM<sub>2.5</sub> terhadap kesehatan manusia. Selain itu, hasil

perhitungan ISPU disampaikan kepada publik setiap jam dalam 24 jam untuk hasil perhitungan ISPU parameter PM 2.5, artinya terjadi peningkatan frekuensi penyampaian informasi. Sedangkan hasil perhitungan ISPU parameter 6 (enam) parameter lainnya disampaikan kepada publik minimal 2 (dua) kali dalam kurun 24 jam yaitu pada pukul 09.00 dan 15.00 (KLHK, 2020). Tabel konversi nilai dari konsentrasi parameter dan cara perhitungan ISPU dapat disajikan pada tabel 7.3.

**Tabel 7.3 :** Tabel Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU

ISPU	24 jam PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 jam PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 jam SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 jam CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 jam O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 jam NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 jam HC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
0-50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51-100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101-200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201-300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
> 300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Sumber : (KLHK, 2020)

Perhitungan ISPU menggunakan nilai ISPU batas atas, batas bawah, ambien batas atas, ambien batas bawah, dan konsentrasi ambien hasil pengukuran. Formulasi rumus dalam perhitungan ISPU :

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b$$

Keterangan,

I = ISPU terhitung

I<sub>a</sub> = ISPU batas atas

I<sub>b</sub> = ISPU batas bawah

X<sub>a</sub> = Konsentrasi ambien batas atas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

X<sub>b</sub> = Konsentrasi ambien batas bawah ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

X<sub>x</sub> = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**Tabel 7.4 : Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)**

<b>Rentang</b>	<b>Kategori</b>	<b>Penjelasan</b>
301+	Berbahaya	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat
201-300	Sangat tidak sehat	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
101-200	Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan
51-100	Sedang	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan
1-50	Baik	Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan

Sumber : (KLHK, 2020)

Data ISPU yang ada menggambarkan bagaimana tingkat risiko kesehatan yang dihasilkan akibat kualitas udara yang ada. Sebagai contoh kualitas udara yang ada di Jakarta dan Yogyakarta. Dua kota ini memberikan gambaran ISPU yang berbeda satu sama lain saat pra-pandemi dan pandemi seperti yang diilustrasikan pada gambar 7.4.



**Gambar 7.4 :** Data ISPU Jakarta dan Yogyakarta Tahun 2020  
(Sumber : Data ISPU KLHK; Laia & Arumingtyas, 2021)

Kualitas udara harian yang baik sebesar 5,1% di Jakarta sedangkan kualitas udara harian yang baik sebesar 80,1% di Yogyakarta pada Tahun 2020. Perbedaan signifikan terjadi akibat sumber polutan udara yang tertinggi di Jakarta yang berasal dari aktivitas emisi kendaraan bermotor, emisi gas dari kawasan industri yang masih beroperasi saat itu dan menerapkan sistem *Work From Home* dan *Work From Office*. Aktivitas transportasi yang ada di Yogyakarta dapat ditekan dengan adanya pembatasan kedatangan wisatawan bahkan beberapa tempat wisata ditutup sementara selama pandemi sehingga kualitas udara semakin menurun akibat kepadatan lalu lintas yang menurun juga. Kontribusi udara tidak sehat di Yogyakarta akibat adanya parameter CO berada dalam kategori sedang hingga tidak sehat, khusus Januari-April 2020.

## **7.5 Pentingnya Penyehatan Udara Ambien**

### **7.5.1 Dampak Kesehatan Pencemaran Udara Ambien Secara Global**

Paparan polusi udara dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Ketika kita menghirup polutan udara, mereka dapat memasuki aliran darah sehingga, menyebabkan batuk atau mata gatal, penyakit pernapasan, kanker paru-paru sehingga penderita harus menjalani pengobatan bahkan kematian. Manusia berpotensi terpapar polusi udara dari emisi gas knalpot kendaraan, asap, debu jalan, emisi industri, peralatan pekarangan berbahan bakar gas, bahan kimia yang kita gunakan di rumah, dan sumber lainnya (MPCA, 2022).

Paparan polusi udara diperkirakan 7 juta kematian setiap tahun dan menurunkan angka harapan hidup manusia. Dampak kesehatan pada anak yaitu penurunan pertumbuhan dan fungsi paru-paru, infeksi pernapasan, dan asma yang memburuk. Pada orang dewasa, penyakit stroke dan jantung iskemik menjadi faktor kematian akibat pencemaran udara ambien. Selain itu, komplikasi penyakit lain seperti penurunan fungsi saraf dan diabetes melitus. Peningkatan kualitas udara dapat meningkatkan upaya mitigasi terhadap perubahan iklim, sedangkan minimalisasi emisi dapat meningkatkan kualitas udara. Berbagai negara di dunia mencegah masalah kesehatan yang timbul sekaligus melakukan mitigasi dampak perubahan iklim (WHO, 2021a).

Pedoman baru WHO merekomendasikan tingkat kualitas udara untuk 6 (enam) polutan yang terbukti menimbulkan efek kesehatan buruk akibat paparan. Ketika tindakan pengendalian pencemaran udara terhadap partikulat (PM), ozon ( $O_3$ ), nitrogen dioksida ( $NO_2$ ) sulfur dioksida ( $SO_2$ ) dan karbon monoksida (CO) dilakukan, maka akan hal itu juga berdampak pada polutan berbahaya lainnya. Risiko kesehatan akibat paparan partikel yang berdiameter sama atau lebih kecil dari 10 dan 2,5 mikron ( $\mu m$ ) berhubungan dengan gangguan kesehatan tertentu. PM 2,5 dan PM 10 mampu menembus jauh ke dalam paru-paru, namun PM 2,5 dapat memasuki aliran darah, akan menyebabkan penyakit kardiovaskular dan pernapasan, dan akan mempengaruhi organ lainnya. PM bersumber dari hasil pembakaran bahan bakar di berbagai sektor, termasuk transportasi, energi, rumah tangga, industri, dan pertanian. Pada tahun 2013, polusi udara luar

ruangan dan partikulat diklasifikasikan sebagai karsinogenik oleh Badan Internasional untuk Penelitian Kanker WHO.

Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan kesehatan lingkungan terbesar bagi kesehatan. Dengan mengurangi tingkat pencemaran udara, negara-negara dapat mengurangi beban penyakit dari stroke, penyakit jantung, kanker paru-paru, dan penyakit pernapasan kronis dan akut, termasuk asma. Semakin rendah tingkat pencemaran udara, semakin baik kesehatan kardiovaskular dan pernapasan penduduk, baik jangka panjang maupun jangka pendek. Pedoman Kualitas Udara WHO: Pembaruan Global 2021 memberikan penilaian efek kesehatan dari polusi udara dan ambang batas untuk tingkat polusi yang membahayakan kesehatan.

Populasi paling berisiko mengalami gangguan kesehatan terkait pencemaran udara (MPCA, 2022) antara lain :

- a. Orang dengan penyakit paru-paru, seperti asma, bronkitis kronis, emfisema, dan penyakit paru obstruktif kronik
- b. Balita
- c. Orang yang bekerja atau berolahraga di luar ruangan
- d. Lansia (usia di atas 65 tahun)
- e. Orang dengan riwayat penyakit kardiovaskular
- f. Orang-orang dalam kemiskinan; orang-orang yang tidak memiliki akses ke perawatan kesehatan
- g. Orang yang merokok atau terpapar asap rokok
- h. Orang yang bekerja di pekerjaan di mana ada paparan tinggi terhadap udara yang terkontaminasi saya.
- i. Orang yang menghabiskan banyak waktu di dekat dengan keramaian jalan raya

Pada tahun 2019, terdapat 99% populasi dunia tinggal di tempat dengan kualitas udara yang buruk. Ambient (polusi udara luar ruangan) di kota dan daerah pedesaan diperkirakan menyebabkan 4,2 juta kematian di seluruh dunia pada tahun 2016. Sekitar 91% dari kematian tersebut terjadi di negara dengan pendapatan per kapita penduduk yang berpenghasilan rendah dan menengah, dan jumlah terbesar di wilayah Asia Timur dan Pasifik Barat. Penduduk yang tinggal di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah mengalami beban pencemaran udara luar ruangan sebesar 91% (dari

4,2 juta kematian) dan beban terbesar di Asia Tenggara dan wilayah Pasifik Barat.

Pencemaran udara berhubungan signifikan dengan kejadian penyakit kardiovaskular dan kematian yang telah dibuktikan dari berbagai penelitian yang relevan. Paparan jangka panjang terhadap konsentrasi rendah PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, dan karbon hitam berhubungan dengan kematian akibat kardiovaskular, pernapasan, dan kanker paru-paru dari tujuh studi kohort prospektif besar di Eropa utamanya paparan PM<sub>2.5</sub> dan NO<sub>2</sub> masih di bawah nilai batas tahunan pedoman kualitas udara UE, US EPA, dan WHO 2005 (Staffogja, *et al.*, 2022).

### 7.5.2 Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara Ambien

Kebijakan dan investasi yang mendukung transportasi yang ramah lingkungan, rumah hemat energi, pembangkit listrik, industri, dan pengelolaan limbah kota yang lebih baik akan mengurangi sumber utama pencemaran udara ambien. Ada banyak contoh kebijakan yang berhasil dalam transportasi, perencanaan kota, pembangkit listrik dan industri untuk mengurangi laju pencemaran udara (WHO, 2021b):

- a. **industri:** teknologi bersih yang mengurangi emisi cerobong asap industri; peningkatan pengelolaan limbah perkotaan dan pertanian, termasuk penangkapan gas metana yang dipancarkan dari lokasi limbah sebagai alternatif pembakaran (untuk digunakan sebagai biogas);
- b. **energi:** memastikan akses ke solusi energi rumah tangga yang terjangkau untuk memasak, memanaskan dan penerangan;
- c. **transportasi:** beralih ke mode pembangkit listrik yang bersih; memprioritaskan transit perkotaan yang cepat, jaringan berjalan kaki dan bersepeda di kota-kota serta kereta api barang antar kota dan perjalanan penumpang; beralih ke kendaraan diesel tugas berat yang lebih bersih dan kendaraan serta bahan bakar rendah emisi, termasuk bahan bakar dengan kandungan sulfur yang lebih rendah;
- d. **perencanaan kota:** meningkatkan efisiensi energi dan membuat kota lebih hijau dan kompak, dan hemat energi;
- e. **pembangkit listrik:** peningkatan penggunaan bahan bakar rendah emisi dan sumber daya bebas pembakaran terbarukan (seperti tenaga surya, angin atau tenaga air); *co-generation*



panas dan listrik; dan perluasan jaringan pembangkit energi (misalnya jaringan mini-pembangkit listrik tenaga surya di atap bangunan);

- f. **pengelolaan limbah kota dan pertanian:** strategi pengurangan limbah, pemisahan limbah, daur ulang limbah; serta metode pengelolaan limbah biologis yang lebih baik seperti proses anaerobik untuk menghasilkan biogas sebagai bahan bakar alternatif yang layak dan harga terjangkau. Proses pembakaran tidak dapat dihindari, maka perlunya teknologi pembakaran dengan kontrol emisi yang ketat.

WHO mengembangkan alat seperti *AirQ+* untuk menilai dampak kesehatan dari berbagai polutan, bahkan *Health Economic Assessment Tool (HEAT)* untuk menilai intervensi berjalan kaki dan bersepeda, alat *Green+* untuk meningkatkan pentingnya ruang hijau dan kesehatan, *Sustainable Transport Health Assessment Tool (STHAT)* dan *Integrated Transport and Health Impact Modelling Tool (ITHIM)*. WHO telah mengembangkan *Clean Household Energy Solutions Toolkit (CHEST)* untuk menyediakan alat yang dibutuhkan negara dan program untuk menyusun atau mengevaluasi kebijakan akses dan penggunaan energi rumah tangga yang bersih. CHEST dapat menjadi alat dalam penilaian kebutuhan, panduan standar dan pengujian perangkat energi rumah tangga, pemantauan dan evaluasi, dan pemberdayaan sektor kesehatan untuk mengatasi pencemaran udara yang dimulai dari tingkat rumah tangga.

## DAFTAR PUSTAKA

- Byjus, 2020. *Air Composition Properties*. (online) <https://byjus.com/physics/air-composition-properties/>, diakses tanggal 5 September 2022 di Yogyakarta.
- Chaniago, D., & Zahara, A. 2020. *Pemantauan mutu udara ambien dengan metode passive sampler*. Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara, Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta. (online) <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/pemantauan-mutu-udara-ambien-dengan-metode-passive-sampler>, diakses tanggal 10 September 2022 di Yogyakarta.
- Chaniago, D., Zahara, A., Ramadhani, I.S., 2020. *Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Sebagai Informasi Mutu Udara Ambien Di Indonesia*. (online) <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>, diakses tanggal 5 September 2022 di Yogyakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2019. *Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2019*. Pusat Data dan Informasi Sekjen KLHK. Jakarta.
- Keputusan Gubernur Nomor 153 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Udara Ambien*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. *Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Sebagai Informasi Mutu Udara Ambien Di Indonesia*. Jakarta.
- Khalid, H., 2020. *Mengenal Pengambilan Contoh Uji Udara Ambien*. (Online) <https://environment-indonesia.com/mengenal-pengambilan-contoh-uji-udara-ambien/>, diakses tanggal 18 September 2022 di Yogyakarta.
- Laia, K., dan Arumingtyas, L., 2021. *Mencari Solusi Tanpa Polusi Atasi Pencemaran Udara Perkotaan*. (Online) <https://www.mongabay.co.id/2021/09/10/mencari-solusi-tanpa-polusi-atasi-pencemaran-udara-perkotaan/>, diakses tanggal 22 September 2022 di Yogyakarta.

- MPCA [Minnesota Pollution Control Agency]. 2022. *Air Quality and Health*. <https://www.pca.state.mn.us/air-water-land-climate/air-quality-and-health>, diakses tanggal 26 September 2022 di Yogyakarta.
- Prabowo, K., dan Muslim, B., 2018. *Penyehatan Udara*. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan. BPPSDM.Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/Setjen/Kum.1/7/2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara*.
- Stafoggia, M., Oftedal, B., Chen, J., Rodopoulou, S., Renzi, M., Atkinson, R. W., Bauwelinck, M., Klompmaker, J. O., Mehta, A., Vienneau, D., Andersen, Z. J., Bellander, T., Brandt, J., Cesaroni, G., de Hoogh, K., Fecht, D., Gulliver, J., Hertel, O., Hoffmann, B., ... Janssen, N. A. H. 2022. Long-term exposure to low ambient air pollution concentrations and mortality among 28 million people: results from seven large European cohorts within the ELAPSE project. *The Lancet Planetary Health*, 6(1), e9–e18. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00277-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00277-1).
- World Health Organization (WHO). 2021a. *New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution*. (Online) <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>, diakses tanggal 1 Oktober 2022 di Yogyakarta.
- World Health Organization (WHO). 2021b. *Ambient (outdoor) air pollution*. (Online) [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), diakses tanggal 3 Oktober 2022 di Yogyakarta.

# BAB 8

## STANDAR PENGELOLAAN BAHAN KIMIA DI TEMPAT KERJA

*Oleh Lukman Handoko*

### 8.1 Pendahuluan

Potensi bahaya yang ditimbulkan dari bahaya lingkungan kimia pada tempat kerja dapat mempengaruhi manusia dalam pekerjaan sehari-hari, termasuk interaksi sosial. Manusia tidak dapat hidup sebagai makhluk sosial sebagai pekerja agar dapat hidup tanpa bantuan orang lain. Dalam aktivitas kerja tersebut, manusia sebagai tenaga kerja bersentuhan dengan lingkungan kerja dan jika diabaikan lambat laun akan menimbulkan gangguan kesehatan. (Handoko, 2022)

Kondisi pandemi Covid-19 tidak mempengaruhi tuntutan pekerja pada industri, rumah sakit dan tempat kerja yang lain kondisi yang ada tidak akan mempengaruhi proses produksi yang berjalan, hal tersebut sejalan dengan perkembangan yang baik pada masyarakat kita yang tidak terpengaruh dengan ditandai dengan sadar akan pentingnya pengetahuan, perilaku serta *best practice* pada masyarakat. (Pramana *et al.*, 2020; Susilawaty *et al.*, 2021) Masalah kesehatan yang berhubungan dengan tenaga kerja merupakan salah satu penyakit akibat kerja, namun tentunya tidak dapat terjadi tanpa adanya interaksi antara tenaga kerja dengan lingkungan kerja. Salah satu lingkungan kerja yang ada di tempat kerja dikaitkan dengan lingkungan kimia yang dapat menimbulkan bahaya akibat faktor lingkungan kimia (Handoko, 2022)

Tindakan perlindungan terhadap bahaya kimia dapat mempengaruhi tenaga kerja di seluruh dunia, terlepas dari kondisi, lokasi, atau tenaga kerja, atau faktor lain yang cenderung membedakan orang sebagai budaya. Bahaya lingkungan kimia adalah peristiwa dan/atau kejadian yang terjadi secara alami yang dirancang untuk mengancam keselamatan atau kesehatan tenaga kerja. (Geetha, 2018)

## **8.2 Manfaat**

Manfaat yang diperoleh dari hadirnya buku ini menambah wawasan, pengetahuana bagi tenaga kesehatan, pemerhati lingkungan, masyarakat yang melakukan upaya pengoptimalkan potensi dalam pencegahan bahaya lingkungan, mahasiswa serta tenaga pendidik, bahaya lingkungan berkaitan dengan bahaya kimia, sehingga dapat mengurangi risiko penyakit akibat kerja akibat pajanan bahaya kimia yang diterima.

## **8.3 Tempat Kerja dan Konsep Pengelolaan Bahan Kimia**

### **8.3.1 Tempat Kerja**

Tempat kerja berarti setiap ruangan tertutup atau terbuka, bergerak atau tetap di mana seorang karyawan bekerja atau sering dikunjungi oleh seorang karyawan untuk kebutuhan organisasi dan di mana satu atau lebih bahaya hadir atau area. (Permenaker, 1999). Berdasarkan definisi tersebut bahwa sesuatu bisa dikatakan sebagai tempat kerja jika memenuhi tiga unsur yang meliputi tenaga kerja, usaha atau aktifitas dan sumber bahaya.

Pencemaran dalam kontek ini mengacu pada kondisi lingkungan kerja secara fisik yang mengalami kondisi diatas nilai ambang batas yang sudah ditetapkan dalam peraturan perundangan yang bisa mengakibatkan gangguan atau dampak terhadap kesehatan manusia atau tenaga kerja.

### **8.3.2 Pengelolaan Bahan Kimia**

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2001 tentang Penanganan Bahan Kimia, Bahan Kimia (selanjutnya disebut Bahan Berbahaya dan Beracun, selanjutnya disingkat B3), secara langsung atau tidak langsung mencemari dan/atau merusak lingkungan hidup dan/atau membahayakan lingkungan, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan organisme lain;

Bahan Kimia Berbahaya adalah bahan kimia dalam bentuk tunggal atau campuran yang berbahaya bagi pekerja, fasilitas dan lingkungan berdasarkan sifat kimia dan/atau fisik dan/atau toksikologinya. (Permenaker, 2018)

Pengelolaan bahan kimia adalah kegiatan pembuatan, pengangkutan, pendistribusian, penyimpanan, penggunaan dan/atau pembuangan bahan kimia.

Berdasarkan Berdasarkan Permenaker (2018), faktor kimia adalah faktor-faktor yang dapat mempengaruhi aktivitas pekerja yang bersifat kimia yang disebabkan oleh penggunaan bahan kimia dan turunannya di tempat kerja, dapat menyebabkan penyakit. gas, uap dan partikel.

Kontaminan kimia berdasarkan definisi diatas bahwa bentuk fisik dari bahan kimia meliputi :

1. Fase gas dari materi cair dan padat, di mana materi memiliki suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dan tekanan satu atmosfer disebut sebagai uap.
2. Kabut adalah aerosol dari tetesan kecil cairan di udara. Aerosol adalah dispersi partikel halus ( $<1$  mikron) dalam medium gas. Kabut dapat terjadi di:

- 1) Percikan cairan seperti semprotan cat.
- 2) Proses pembersihan logam di mana gelembung yang terbentuk naik ke permukaan cairan dan pecah, memaksa tetesan ke udara.

Terjadinya kondensasi pada uap

Mesin yang dalam kondisi panas kontak dengan cairan pendingin atau zat pelumas

Kebocoran yang terjadi pada pipa yang bertekanan yang berisi cairan.

3. Proses mekanis yang menghasilkan zat padat yang halus (*tiny solid particles*) yang mana proses mekanisnya berkaitan dengan alat bantu tangan seperti menggerinda, menghancurkan, memipis (*pulverize*) zat-zat padat yang menghasilkan debu.
4. Proses kondensasi pada metal yang bisa membentuk zat padat yang berukuran kecil ( $0,1-1\ \mu\text{m}$ ) yang biasa kita sebut sebagai *Fume*.
5. Pembakaran tidak sempurna dari bahan padat yang mengandung karbon berukuran kurang dari  $0,5$  mikron biasa disebut asap.
6. Kondensasi pada uap air yang bisa terjadi karena adanya pendinginan merupakan *fog*, dengan ukuran *fog* berkisar  $5-6$  mikron, partikel yang memiliki ukuran lebih besar bisa

terbentuk ketika adanya penggumpalan (*flokulasi*) antara *fog* dan *fume*.

7. Sistem biologis (*biological system*) yang bisa mengalami bahaya karena adanya zat yang jumlahnya relatif sedikit yang disebut sebagai racun. (*Toksin*)

Penyakit dan kecelakaan kerja dapat terjadi di tempat kerja di mana bahan kimia ditangani, disimpan, digunakan, diproduksi atau diangkut yang bisa membahayakan maka menjadi kewajiban pengurus atau pengusaha untuk melakukan pengendalian bahaya.

Berbagai bahaya kimia yang berbahaya dilakukan pengendalian sebagai berikut :

- a. penyediaan lembar data keselamatan bahan (LDKB) atau *Material safety Data Sheet* (MSDS) dan Label

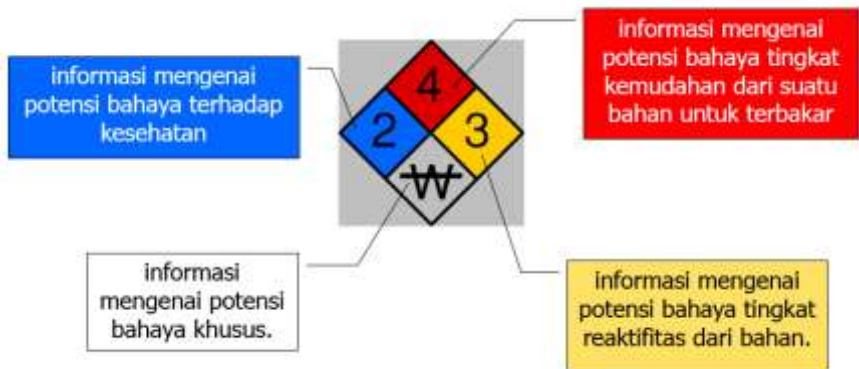
Berdasarkan Depnaker (1999) bahwa Informasi yang harus ada dalam Lembar Data Keselamatan bahan meliputi :

1. Bahan dan Identitas yang dimiliki dari perusahaan.
2. komposisi bahan.
3. identifikasi bahaya.
4. tindakan pertolongan pertama pada kecelakaan (P3K).
5. proteksi pencegahan dan peanggulangan terjadinya kebakaran.
6. menangani kebocoran dan tumpahan.
7. penyimpanan dan penanganan material.
8. Kontrol paparan dan alat pelindung diri.
9. sifat fisika dan kimia.
10. stabilitas dan reaktifitas material.
11. informasi toksikologi
12. informasi ekologi.
13. pembuangan limbah.
14. Transprotasi material.
15. informasi tentang undang-undang dan peraturan.
16. informasi lain yang diperlukan

Berdasarkan Depnaker (1999) bahwa Informasi yang harus ada dalam label bahan kimia berbahaya antara lain :

1. Nama produk.

2. Identifikasi bahaya.
3. Sinyal bahaya dan artinya.
4. Penjelasan tentang risiko dan mitigasinya.
5. Pemberitahuan.
6. Instruksi dalam kasus paparan atau paparan.
7. PETUNJUK PENEMBAKAN.
8. Petunjuk Tumpahan atau Kebocoran.
9. Metode pengisian dan penyimpanan.
10. Referensi.
11. Nama, alamat dan no. telepon pabrik pembuat dan atau distributor.



**Gambar 8.1 :** Labeling  
(National Fire Protection association 704, 2020)

- b. Penunjukan petugas K3 Kimia dan Ahli K3 Kimia. /PT  
 Dalam pengendalian bahaya pada tempat kerja dikenal dengan piramida penanggulangan bahaya yang terdiri dari Pengendalian secara mekanik (*engineering/mechanical control*); Pengendalian secara administratif (*administrative/procedural control*); Alat pelindung diri (*Personal Protective Equipment*).

Berdasarkan hal tersebut bahwa pengendalian bahan-bahan kimia bisa dilakukan dengan prinsip piramida sebagai berikut :

1. Pengendalian secara mekanik



Pengendalian secara mekanik atau teknik ini bertujuan untuk mengeliminasi atau mengurangi bahaya pemaparan dengan cara-cara sebagai berikut :

a. Substitusi

Substitusi merupakan cara yang ideal untuk mnegliminasi atau mengurangi bahaya pemaparan (*exposure hazards*). Dengan cara substitusi (penggantian) suatu zat yang toksik dengan zat yang kurang toksik. Sebagai contoh, substitusi benzene dengan toluene, fosfor putih dengan fosfor merah, asbestos dengan serat gelas (*fiber glass*), gas metal bromide (gas pendingin/*refrigerant*) dengan gas freon.

b. Otomatisasi (*automation*)

Otomatisasi bertujuan untuk mengurangi bahya pemaparan. Sebagai contoh, robot-robot dapat melakukan pengelasan di dalam lambung kapal dan tempat-tempat kerja lain yang ventilasi alaminya sangat buruk (*confined space*) dan di mana tenaga kerja dapat terpapar oleh zat-zat kimia yang berbahaya.

Namun, perlu diketahui bahwa otomatisasi dan substitusi tidak selalu dapat diterapkan di tempat-tempat kerja. Oleh karean itu, kadang-kadang perlu cara pengendalian lain untuk mengurangi bahaya pemaparan, misalnya dengan ventilasi atau isolasi sumber kontaminan (*enclosure*).

2. Pengendalian secara administrative

Pengendalian secara administratif diantaranya meliputi :

a. Pendidikan dan Pelatihan (Diklat)

b. Pengadaan Label (*Labeling*) Dan *Msds* (*Material Safety Data Sheets*).

Menurut Keputusan Menteri Tenaga Kerja No : Kep. 187/Men/1999 tentang Pengendalian Bahan Kimia Berbahaya di Tempat Kerja bahwa Lembar data keselamatan bahan (LDKB) atau dalam bahasa Inggris disebut MSDSs meliputi keterangan tentang :

- a) Identitas bahan dan perusahaan
- b) Komposisi bahan
- c) Identifikasi bahaya

- d) Tindakan pertolongan pertama pada kecelakaan (P3K)
  - e) Tindakan penanggulangan kebakaran
  - f) Tindakan mengatasi kebocoran dan tumpahan
  - g) Penyimpanan dan penanganan bahan
  - h) Pengendalian pemajanan dan alat pelindung diri
  - i) Sifat fisika dan kimia
  - j) Stabilitas dan reaktifitas bahan
- c. ketatarumahtangaan perusahaan (*Housekeeping*)  
 Pembersihan lantai-lantai tempat kerja dan mesin-mesin yang berdebu dilakukan dengan alat penghisap (*vacuum cleaner*) yang dilengkapi dengan filter yang efisiensinya tinggi (*high- efficiency filter*). Membersihkan lantai atau mesin yang berdebu dengan cara menyapu adalah tidak dianjurkan karena hal ini dapat menyebabkan debu-debu berterbangan di tempat-tempat kerja.
- d. Pemantauan lingkungan kerja Pemantauan (*monitoring*) merupakan salah satu cara pengendalian yang bertujuan untuk mengecek/menilai efektivitas dari usaha-usaha pengendalian yang telah dilakukan.  
 Sebagai contoh, pengukuran kadar debu dalam udara tempat kerja yang telah dilakukan untuk mengetahui apakah system ventilasi (*local exhaust ventilation*) benar-benar efektif. Sedangkan pemeriksaan kesehatan dan laboratorium (*biological monitoring*) bertujuan untuk mengetahui sejauh mana tenaga kerja telah terpengaruh oleh bahan-bahan kimia yang terdapat ditempat-tempat kerja (untuk deteksi dini).
- e. Pemeriksaan kesehatan (*medical check up*)
- f. Rotasi pekerjaan (*job rotation*)
3. Alat pelindung diri  
 Alat pelindung diri bertujuan untuk menghalangi *airbone chemical* masuk ke dalam tubuh (sebagai *barrier*)

Beberapa informasi yang perlu diketahui sebelum perusahaan membeli alat pelindung diri yang diwajibkan adalah :

- a. Apakah kontaminan berbentuk gas, uap, *mist*, *fume* atau debu, atau kombinasi dari dua kontaminan atau lebih

- b. Berapa kadar kontaminan dalam udara tempat kerja
- c. Berapa Nilai Ambang Batas (NAB) dari bahan kimia yang terpapar
- d. Apakah kontaminan yang terpapar oleh pekerja juga menyebabkan iritasi pada kulit atau mata
- e. Apakah kontaminan dapat diserap oleh kulit yang normal
- f. Apakah kadar kontaminan dapat membahayakan jiwa pekerja pada pemaparan yang relative singkat
- g. Apakah kadar oksigen dalam udara tempat kerja menurun (defisiensi oksigen atau kadar oksigen dalam udara < 17%)

## **8.4 Kesimpulan**

Tenaga kerja yang terpapar kondisi lingkungan kimia akan berpotensi mengalami gangguan kesehatan akibat bahaya kimia, mengetahui pengetahuan pencegahan penyakit akibat kerja akan sangat bermanfaat dalam menurunkan angka kejadian yang akan menunjang Tenaga kerja berperan sebagai garda terdepan dalam memerangi penyakit akibat kerja yang timbul dalam perjalanan pekerjaannya. Mereka merupakan elemen kritis yang terlibat aktif dalam upaya pencegahan penyakit akibat kerja dan didukung oleh komitmen manajemen dalam melaksanakan upaya keselamatan dan kesehatan kerja. Penyakit akibat kerja cenderung tidak muncul sebagai akibat dari upaya keselamatan dan kesehatan kerja dapat ditekan seminimal mungkin, sehingga menekan biaya akibat penyakit akibat kerja, termasuk kerugian pada karyawan serta kerusakan peralatan berupa material dan lingkungan. Akibatnya, ini dimaksudkan untuk mengurangi bahaya akibat dampak dari lingkungan kerja fisik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Geetha, G. 2018. '14. environmental hazards and it's impact on human health', 2(1), pp. 64–68.
- Handoko, L. 2022. 'BAB 5 PENCEMARAN LINGKUNGAN DAN DAMPAKNYA TERHADAP KESEHATAN MANUSIA PHYSICAL HAZAR'. Get Press, p. 59. Available at: [https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=C6ViEAAAQB-AJ&oi=fnd&pg=PA59&dq=related:VxiFHKnBwUQJ:scholar.google.com/&ots=4pEgkuONB1&sig=zR5HaEI4DnPE8aWmwiuo1FGbJo&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=C6ViEAAAQB-AJ&oi=fnd&pg=PA59&dq=related:VxiFHKnBwUQJ:scholar.google.com/&ots=4pEgkuONB1&sig=zR5HaEI4DnPE8aWmwiuo1FGbJo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).
- Keputusan Menteri Tenaga Kerja No : Kep. 187/Men/1999 tentang Pengendalian Bahan Kimia Berbahaya di Tempat Kerja
- NFPA 704. 2020. Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response
- Permenaker. 2018. 'Peraturan Menteri Tenaga Kerja No 5/2018 K3 Lingkungan Kerja', *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No 5 Tahun 2018*, 5, pp. 1–258. Available at: <https://jdih.kemnaker.go.id/keselamatan-kerja.html>.
- Peraturan Pemerintah RI No. 74 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun
- Peraturan Presiden RI Nomor 7. 2019. 'Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Penyakit Akibat Kerja', *Www.Hukumonline.Com/Pusatdata*, pp. 1–102. Available at: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/101622/perpres-no-7-tahun-2019>.
- Permenaker. 2018. 'Peraturan Menteri Tenaga Kerja No 5/2018 K3 Lingkungan Kerja', *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No 5 Tahun 2018*, 5, pp. 1–258. Available at: <https://jdih.kemnaker.go.id/keselamatan-kerja.html>.
- Pramana, C. *et al.* 2020. 'KNOWLEDGE, ATTITUDES, AND PRACTICES OF USING MASKS BY THE COMMUNITY DURING THE COVID-19 PANDEMIC IN INDONESIA', *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, 17(9), pp. 4800–4808.

Susilawaty, A. *et al.* 2021. 'Attitude, Risk Perception and Public Acceptance against Coronavirus Disease 2019 Vaccination in Indonesia', *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 9(E SE-Public Health Legislation), pp. 717–721. doi: 10.3889/oamjms.2021.6635.

# **BAB 9**

## **STANDAR BUANGAN KIMIA DI INDUSTRI**

*Oleh Suriani Nur*

### **9.1 Pendahuluan**

Indonesia merupakan salah satu Negara yang memiliki industri yang berkembang dengan pesat. Banyak daerah yang telah membuat kawasan industri dengan membuat suatu lokasi khusus industri yang, atau ada juga industri yang menyebar di berbagai tempat. Industri yang ada di Indonesia semakin berkembang dengan lahirnya kebijakan ekspor 'barang jadi' dan mengurangi ekspor 'bahan baku' industri. Hal ini membuat industri semakin mengalami pertumbuhan perkembangan positif untuk meningkatkan perekonomian Negara.

Pemerintah Indonesia melalui menteri Perindustrian telah menyatakan bahwa satu dari 5 sektor manufaktur menjadi prioritas dalam pengembangan untuk memasuki era industri 4.0. Industri kimia merupakan sektor yang banyak memberikan sumbangsi peningkatan pada devisa Negara. . (<https://kemenperin.go.id>).

Industri di Indonesia sudah sedemikian bervariasi baik industri makanan, industri kimia dasar, industri kertas, industri kayu, industri tekstil, industri alat transportasi, industri alat listrik masih banyak industri lainnya. Semua industri ini ada yang berskala kecil, menengah dan berskala besar.

Kegiatan ekonomi akan jauh lebih menggeliat apabila industri di suatu daerah berkembang dengan baik, karena sektor industri ini menjadi basis dari kegiatan perekonomian dari proses produksi bahan baku hingga menghasilkan barang jadi yang melibatkan banyak proses di dalamnya. Industri sangat membutuhkan kimia dan proses kimia, karena peranan kimia sedemikian nyata untuk menghasilkan produk tertentu pada industri tertentu. Meskipun tidak semua industri menggunakan kimia dan proses kimia, tapi ada dan banyak industri membutuhkan kimia dan proses kimia. Proses produksi dalam industri

ini sudah pasti menghasilkan buangan baik dalam bentuk padat, cair maupun gas.

Buangan industri apabila tidak dikelola dengan baik maka akan menyebabkan persoalan bagi manusia dan lingkungan hidup sebagai tempat manusia beraktifitas. Namun dibalik berita bagus itu tersimpan berita negatifnya. Karena berbagai macam industri dengan segala limbah yang di timbulkan merupaka persoalan tersendiri bagi lingkungan hidup, termasuk bagi manusia dan makhluk hidup lainnya.

Oleh krena itu maka, pembangunan industri untuk menopang perekonomian negara, harus dibarengi dengan pembangunan lingkungan hidup dengan keterlibatan pelaku industri secara partisipatif untuk menangani buangan industri yang dihasilkannya. Salah satu bentuk resposf pada keadaan lingkungan adalah dengan mengolah buangan industri miliknya sesuai standar baku buangan industri sebelum dibuang ke lingkungan seperti dibuang ke selokan, sungai, laut, danau, tanah dan sebagainya.

## **9.2 Jenis Buangan Industri**

Buangan industri merupakan sisa proses produksi industri yang sudah tidak terpakai. Buangan industri atau biasa disebut limbah industri ini merupakan hasil samping dari suatu proses produksi di industri.

Semua proses produksi pada industri apapun, tidak mungkin akan terkonversi 100% bahan baku menjadi barang jadi, pasti akan ada sisa hasil produksi. Sisa hasil produksi yang menjadi buangan industri memiliki bentuk yang berbeda-beda. Berdasarkan fase bentuknya maka buangan industri terbagi atas buangan berbentuk: padat, cair dan gas. Berdasarkan resikonya maka buangan industri dapat dikelompokkan atas buangan industri tidak berbahaya dan buangan industri berbahaya/beracun.

Pemerintah Indonesia secara nasional telah menetapkan standar buangan industri sesuai dengan jenis industri, dan sesuai dengan bentuk buangannya. Melalui regulasi yang ada sebenarnya sudah sedemikian komplit diatur tentang bagaimana buangan kimia industri agar memperhatikan ambang batas buangan. Setiap Industri memiliki jenis industri yang berbeda sehingga porses

produksi nya pun akan berbeda, yang akan melahirkan buangan industrinya pun berbeda. Penggunaan baku mutu pastilah disesuaikan dengan jenis industri dan buangannya yang akan diperhatikan sebelum di buang ke lingkungan.

### **9.2.1 Buangan industri Padat.**

Buangan industri padat atau limbah industri padat adalah buangan industri yang berbentuk padat yang dihasilkan oleh suatu pabrik. Buangan industri padat ini jika tidak ditangani dengan baik maka akan menyebabkan persoalan di tempat pembuangan. Contoh buangan industri berbentuk padat yaitu sisa bahan pakaian, sampah plastik, potongan kayu, sisa bubur kertas, kabel, sisa bubur semen, dan besi.



**Gambar 9.1 :** Buangan Industri Padat  
Sumber:<https://mesinpencacahplastik.id>

### **9.2.2 Buangan Industri Cair**

Berbagai macam pelarut yang digunakan dalam proses produksi pada industri, termasuk menggunakan air untuk pelarut, pencuci, atau pendingin. Sehingga sebagian besar industri memiliki buangan berbentuk cair. Buangan industri cair atau limbah cair ini perlu penanganan agar tidak menyebabkan persoalan lingkungan. Limbah cair dari industri yang masih mengandung bahan kimia organik maupun anorganik sebaiknya dinetralisir sebelum dibuang ke lingkungan dengan melakukan pengolahan buangan cair industri.





**Gambar 9.2** : Buangan Industri Cair

Sumber <https://www.prosesproduksi.com/limbah-pabrik>

Secara nasional, pemerintah telah menetapkan baku mutu air limbah industri Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan yang ditetapkan pemerintah melalui kementerian didasarkan pada kemampuan teknologi pengolahan air limbah yang umum digunakan, atau daya tampung lingkungan di kawasan usaha atau kegiatan.

Usaha atau kegiatan yang baku mutu air limbahnya diatur dalam Peraturan Menteri ini terdiri dari: industri pelapisan logam dan galvanis, industri penyamakankulit, industri minyak sawit, industri karet, industri tapioca, industri monosodium glutamat dan inosin monofosfat, industri kayu lapis, industri pengolahan susu, industri minuman ringan, industri sabun, deterjen dan produk-produk minyak nabati, industri bir, industri baterai timbal asam, industri pengolahan buah-buahan atau sayuran, industri pengolahan hasil perikanan, industri pengolahan hasil rumput laut, industri pengolahan kelapa, industri pengolahan daging, industri pengolahan kedelai, industri pengolahan obat tradisional atau jamu, industri peternakan sapi dan babi, industri minyak goreng, industri gula, industri rokok atau cerutu, industri elektronika, industri pengolahan kopi, industri gula rafinasi, industri Petrokimia Hulu, industri rayon, industri keramik, industri asam tereftalat,

polyethylene tereftalat, industri petrokimia hulu, industri oleokimia dasar, industri soda kostik/khlor, industri pulp dan kertas, industri ethanol, industri baterai kering, industri cat, industri farmasi, industri pestisida, industri pupuk, industri tekstil.

### 9.2.3 Buangan Industri Gas

Pencemaran Udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Emisi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal.



**Gambar 9.3** : Buangan Industri Gas

Sumber Gambar : <https://www.kabartimurnews.com>

### 9.2.4 Buangan Industri Berbahaya dan Beracun

Buangan industri berupa bahan berbahaya dan beracun ini perlu penanganan khusus dibandingkan dengan jenis limbah lainnya. Penangan jenis limbah ini memerlukan perlakuan khusus karena limbah jenis ini memiliki resiko tinggi bagi manusia dan lingkungan hidup. Buangan industri jenis ini antara lain bahan kimia, bahan radioaktif, bahan baterai dan sebagainya.

Buangan industri yang berbahaya dan beracun telah diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3 (Bahan berbahaya dan Beracun). Peraturan ini memaparkan tentang defenisi bahan berbahaya dan beracun yaitu:

*“Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain.”*

Buangan B3 dari industri telah menjadi perhatian Negara. Pelaku usaha industri harus turut berpartisipasi dan menjalankan serta mematuhi regulasi yang ada, untuk keberlangsungan hidup yang lebih baik. Semua buangan B3 dari industri wajib dikelola oleh semua pelaku industri karena kalau tidak maka berarti melanggar aturan Negara. Sebagaimana Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014 dalam BAB II Pasal 3 ayat (1) menyatakan bahwa: Setiap Orang yang menghasilkan Limbah B3 wajib melakukan Pengelolaan Limbah B3 yang dihasilkannya. Sehingga siapa saja yang menghasilkan limbah B3 maka wajib untuk melakukan pengolahan.



**Gambar 9.4 :** Pengolahan limbah B3 oleh perusahaan tertentu

Sumber Gambar: <https://lutputrasolder.com/tag/perusahaan-manajemen-limbah-b3/>

Limbah B3 sebenarnya masih memungkinkan untuk didaur ulang dengan memisahkan bahan kimia yang memungkinkan untuk digunakan kembali untuk mensubstitusi bahan baku lainnya. Melalui perusahaan pengolahan limbah B3 akan bisa diperoleh jenis bahan hasil pengolahan yang dapat berguna untuk digunakan kembali.

### **9.3 Standarisasi Buangan Kimia Industri untuk Lingkungan Hidup Lestari**

Semua orang menyadari bahwa Industri sangat penting keberadaannya dalam suatu Negara khususnya di era revolusi industri 4.0 saat ini. Keberadaan industri menjadi indikator akan kemajuan suatu Negara. Perkembangan industri yang semakin pesat dengan varian industri yang sangat beraneka ragam telah memunculkan dampak positif bagi perekonomian negara.

Negara di dunia ini berlomba-lomba untuk mendorong pertumbuhan industri termasuk industri kimia dasar. Secara umum industri dalam prosesnya banyak menggunakan bahan kimia sehingga pertumbuhan industri kebanyakan tergantung pada industri kimia dasar. Menteri Perindustrian mengungkapkan bahwa satu dari 5 sektor manufaktur mendapatkan skala prioritas pengembangan untuk memasuki industri 4.0 adalah industri kimia berdasarkan peta jalan making Indonesia. (<https://kemenperin.go.id>).

Namun meningkatnya perekonomian tidak serta merta kemudian selaras dengan meningkatkan kelestarian lingkungan hidup, baik secara lokal maupun dunia global. Mengapa ini terjadi? Karena pelaku industri ada yang tidak responsive dan tidak peduli dengan alam sekitar. Sehingga keuntungan dari industri tidak dibagikan pada alam yang telah memberikan kontribusi besar pada keuntungan industrinya. Walaupun masih ada juga industri yang patuh dan mau mengeluarkan uangnya untuk mengolah buangan kimia yang dihasilkan pabriknya atau menyerahkan buangan kimia industri dikelola oleh pihak ketiga dengan membayar saja. Apapun pilihan industri terkait dengan pengolahan buangan kimia yang dihasilkan tidak ada masalah yang penting bagi lingkungan adalah tidak mengalami pencemaran akibat buangan kimia dari industri. Buangan kimia dari industri dapat

membahayakan lingkungan karena itu penting menjadi perhatian. Buangan kimia yang dibuang secara langsung tanpa pengolahan sebelumnya akan mengakibatkan toksik bagi lingkungan.

Peraturan pemerintah RI No. 101 tahun 2014 tentang pengelolaan Limbah B3 merupakan upaya pemerintah untuk meminimalisir resiko dan melindungi segenap unsur lingkungan hidup. Aturan ini sudah detail mengatur mulai dari cara mengelola, menyimpan, mengangkut membuang atau pemusnahannya. Buangan kimia industri masuk kategori buangan yang beresiko terhadap kelestarian lingkungan hidup. Sehingga perlu standarisasi terhadap buangan kimia yang dihasilkan industri berdasarkan jenis industrinya.

## DAFTAR PUSTAKA

Allan B.Cobb. Kimia dalam industri. PT. Pakar Raya.

<https://kemenperin.go.id/artikel/21103/Pemerintah-Pacu-Industri-Kimia-Jadi-Penggerak-Ekonomi-Nasional>

<https://mesinpencacahplastik.id/cara-penanganan-limbah-padat/>

Sumber Gambar: <https://www.kabartimurnews.com/2018/10/30/hipmi-mengharapkan-penetapan-kawasan-industri-di-papua/>

<https://www.prosesproduksi.com/limbah-pabrik>

<https://lutputrasolder.com/tag/perusahaan-manajemen-limbah-b3/>



# **BAB 10**

## **KAIDAH UJI DAYA BUNUH**

*Oleh Bulkis Musa*

### **10.1 Pendahuluan**

Toksikologi adalah ilmu menetapkan batas aman untuk bahan kimia. Disini, juga merupakan studi tentang rusaknya sistem biologis yang disebabkan oleh bahan, tentang racun, mempelajari bukan hanya efek yan ditimbulkan, namun juga sistem kerja tempat efek ini terjadi pada sistem biologis, dan juga tentang studi efek berbahaya pada organisme. Toksikologi lingkungan adalah studi tentang toksikan yang bersifat kimia dan fisika yang didapatkan dari aktivitas dan penyebab lingkungan menjadi tercemar

Toksikologi berkaitan dengan studi tentang hasil yang tidak diinginkan setelah pemberian bahan kimia pada organisme. Toksikologi berhubungan dengan organ tubuh yang sering terpapar dan evaluasi kuantitatif dari efek yang ditimbulkannya. Toksikologi dapat digunakan untuk menentukan batas aman bahan kimia. Artinya, pada keadaan tertentu, bahan kimia dalam tubuh melakukan interaksi dengan sistem biologis untuk menghasilkan efek yang negatif atau beracun dalam bentuk dan sifat yang khas. Oleh karena itu, memahami kondisi spesifik suatu bahan dan sifat racun tersebut dapat menginformasikan bahaya bahan kimia itu sendiri dan bisa dijadikan untuk menetapkan dan dapat memberikan perkiraan batas yang aman apabila manusia mengalami paparan bahan tersebut.

Uji toksisitas merupakan uji untuk menentukan efek racun suatu bahan pada organisme biologis dan untuk menghasilkan hasil respon dosis tertentu dari formulasi uji. Hasil didapatkan digunakan untuk memberikan informasi tentang tingkat bahaya formulasi uji apabila manusia terpapar oleh bahan tersebut, sehingga demi keselamatan dan keamanan manusia tingkat dosis penggunaannya dapat ditentukan.



## 10.2 Asas Umum

Semua bahan kimia memiliki potensi memberikan toksisitasnya, dimana toksisitas tersebut ditentukan oleh dosis. Prinsip ini berangkat dari konsep toksikologi itu sendiri, yang pada dasarnya adalah toksikologi yang berkaitan dengan pemahaman semua efek bahan kimia pada organisme hidup. Mempertimbangkan hipotesis Paracelsus, semua bahan kimia berpotensi menjadi racun, di mana toksisitas bergantung pada dosis. Oleh karena itu, berbagai uji toksikologi dirancang untuk menentukan kondisi yang harus dipenuhi sel biologis ketika dipengaruhi oleh bahan kimia dan sifat efek bahan kimia tersebut. Kondisi ini tergantung pada organisme dan lingkungan, sehingga dalam kondisi tersebut paparan xenobiotik akan memiliki efek. Efek yang terjadi akan sangat bervariasi tergantung dari berbagai faktor yang menyebabkannya.

Setiap interaksi racun dengan sel biologis pasti memiliki efek, dan salah satu tujuan pengujian toksikologi adalah untuk menentukan atau mendeteksi kapan efek itu terjadi. Tentu saja, efeknya akan tergantung pada dosis, potensi intrinsik racun, dan waktu kontak antara xenobiotik dan sistem biologis organisme. Sebagian besar metode biologis yang dikembangkan dalam toksikologi seringkali merupakan hasil dari kebutuhan aktual untuk memperoleh informasi tentang efek bahan kimia pada kesehatan manusia. Seiring dengan kemajuan ekonomi manusia, begitu pula jumlah bahan kimia yang dapat terpapar pada manusia, secara sengaja atau tidak sengaja. Seseorang mungkin telah terpapar bahan kimia di tempat kerja melalui pakaian, makanan, atau bahan kimia yang sengaja digunakan, sehingga perlu untuk memahami kemungkinan toksisitas, tetapi juga mendapatkan jaminan jika manusia yang terpapar dengan bahan kimia tidak akan menimbulkan efek secara langsung dan tidak langsung tetapi membahayakan.

Seharusnya data tentang toksisitas bahan kimia seperti bahan yang ditambahkan makanan, pengganti pada makanan atau obat-obatan harus disediakan. Terdapat batasan moral, etika, dan hukum pada penggunaan manusia sebagai percobaan untuk mendapatkan data toksisitas, sehingga pengujian toksisitas biasanya dilakukan pada hewan percobaan. Asumsi ini berdasar pada studi kemampuan toksik pada hewan uji yang memiliki nilai ekstrapolasi hampir sama dengan

manusia. Sebagai prinsip umum, harus diingat bahwa toksisitas memiliki variasi yang banyak dalam jangka pendek dan jangka panjang yang disebabkan oleh bahan kimia di antara berbagai mamalia, meskipun penilaian efek toksik sangat hati-hati tetapi penilaian inilah yang paling masuk akal dan diterima kemudian ditetapkan beberapa macam toksisitas yang akan digunakan pada manusia.

Ada empat prinsip umum toksikologi yang perlu dipelajari dan dipahami berdasarkan jalur terjadinya efek toksik. Keempat prinsip tersebut adalah kondisi paparan dan kondisi biologis, mekanisme kerja, dan bentuk serta sifat racun atau efek berbahaya dari racun. Pemahaman keempat prinsip umum toksikologi ini dapat digunakan untuk menentukan bahaya suatu racun. Penilaian ini menentukan atau memperkirakan batas aman suatu zat yang kontak dengan atau digunakan pada manusia dan bagaimana penggunaannya agar tidak menimbulkan efek toksik.

### **10.2.1 Kondisi Efek Toksik**

Kondisi efek toksik bahan adalah berbagai kondisi atau faktor yang dapat berpengaruh terhadap keefektifan penyerapan, distribusi, dan eliminasi senyawa pada organisme yang digunakan untuk menentukan adanya bahan kimia atau metabolitnya dalam sel target atau keefektifan interaksi dengan sel target. Jumlah bahan kimia atau metabolit dalam sel target akan berpengaruh terhadap efek toksik. Kondisi efek toksik diantaranya kondisi pada saat terpapar dan kondisi pada makhluk hidup.

### **10.2.2 Mekanisme Efek Toksik**

Mekanisme kerja toksik suatu toksikan dapat digunakan untuk menentukan penyebab keracunan dalam kaitannya dengan bentuk dan sifat toksik yang terjadi. Mekanisme kerja toksikan dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu menurut sifat dan tempat target, sifat dan interaksi tempat target dengan toksikan, dan efek negatif akumulasi toksin dalam penyimpanan tubuh organisme.

### **10.2.3 Wujud Efek Toksik**

Perubahan pada bentuk struktur, biokimia dan fungsional adalah bentuk dari efek toksikan. Reversibilitas dan ireversibilitas adalah sifat yang khas pada perubahan yang terjadi.

### 10.2.4 Sifat Efek Toksik

Efek racun dari zat beracun memiliki dua sifat, reversibel atau ireversibel. Ciri-ciri untuk sifat reversibel meliputi:

1. Reseptor kembali ke keadaan sebelumnya apabila tingkat toksik reseptor habis dalam tempat target.
2. Efek racun akan cepat kembali normal.
3. Toksisitas racun tergantung pada dosis racun dan kecepatan penyerapan, distribusi dan eliminasi.

Ciri untuk sifat irreversibel meliputi:

1. Bersifat permanen apabila terjadi kerusakan.
2. Paparan racun berikutnya akan menimbulkan kerusakan yang sifatnya mirip dan kemungkinan efek racun menjadi menumpuk.
3. Paparan jangka panjang dengan dosis yang sangat kecil dapat menghasilkan efek toksik yang sama dengan paparan jangka panjang terhadap dosis besar.

## 10.3 Asas Prosedur Uji Toksikologi

Asas ini didasarkan pada semua efek bahan kimia pada jaringan hidup yang merupakan hasil reaksi bahan kimia tersebut dengan komponen sistem biologis organisme hidup, atau hasil interaksi antara bahan kimia dan komponen biologis. Studi tentang metode toksikologi berfokus pada deteksi dan evaluasi sifat perubahan fungsional dan struktural yang disebabkan oleh paparan bahan kimia dan implikasi dari efek ini pada sel hidup. Hasil pengembangan metode toksikologi telah menghasilkan prinsip umum yang berlaku untuk sebagian besar prosedur pengujian toksikologi serta semua pengujian toksikologi. Asas metodologi uji toksikologi adalah

1. Bahan kimia harus bersentuhan dengan sel target biologis atau jaringan biologis agar efektif.
2. Ada daerah antara NOEL (*No Observed Effect Level*) di mana kisaran konsentrasi memiliki efek yang terlihat pada sistem biologis.
3. Sel-sel biologis dari spesies yang berbeda memiliki fungsi yang sama dan jalur metabolisme yang sama, dan oleh karena itu umumnya dengan cara yang sama dipengaruhi oleh bahan

kimia.

4. Efek biologis yang terjadi kemungkinan dipengaruhi oleh perubahan yang terjadi pada bentuk suatu bahan kimia.

## **10.4 Pedoman Uji Daya Bunuh**

Dalam penerapan ilmu toksikologi, terdapat lima pedoman uji daya bunuh yang harus dipenuhi adalah:

1. Menggunakan beberapa spesies hewan uji yang memiliki sifat kualitatif yang sama dengan manusia secara biologis jika mudah dikerjakan.
2. Menggunakan beberapa dosis dan efek untuk manusia dan hewan apabila mudah untuk dilakukan.
3. Apabila menggunakan dosis yang tinggi akan memberikan efek yang dapat menyatakan sistem kerja dari zat tersebut, namun pada zat dengan tingkatdosis rendah maka efek berbahaya ini tidak akan timbul pada manusia atau hewan
4. Pemberian dosis dan kelompok kontrol telah diperhitungkan secara matematis sehingga dapat dilakukan uji statistik secara efektif.
5. Jalur pengaplikasian pada manusia dapat dijadikan sebagai jalan lain untuk memberikan efek dalam pengaplikasian dosis apabila pada saat menggunakan hewan uji tidak memberikan hasil yang baik.

## **10.5 Prinsip Uji Toksikologi**

Uji toksikologi umum adalah uji untuk mengetahui dan menganalisis efek bahan yang diberikan pada hewan percobaan. Selain itu, uji toksikologi disebut sebagai uji toksisitas dimana uji ini dilakukan agar memperoleh data tingkatan dosis atau respon khusus dari hewan percobaan dan juga untuk memperoleh efek racun yang ditimbulkan oleh bahan setelah pemberian pada organisme biologis. Dalam pelaksanaannya, ada beberapa prinsip uji toksikologi yang harus dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Terdapat kesamaan mekanisme sistem biologi spesies hewan percobaan dan sistem biologi mamalia.
2. Zat uji dapat menyebabkan disfungsi dan kerusakan jaringan pada beberapa paparan dosis paparan ganda.

3. Data toksikologi dari hewan percobaan dapat digunakan untuk mengukur dosis yang tidak merugikan manusia.
4. Penting untuk dicatat dan diketahui hubungan antara konsentrasi bahan kimia pada tempat paparan dan dampak yang ditimbulkan

Uji toksikologi memiliki pengertian sebagai uji toksisitas yang diartikan sebagai:

1. potensi suatu zat atau bahan untuk bertindak sebagai toksikan,
2. mengidentifikasi kondisi biologis atau lingkungan yang menyebabkan efek toksik, dan
3. melakukan karakterisasi terhadap efek toksik yang dihasilkan

Ada dua uji toksisitas, yaitu uji toksistas umum dan khusus. Toksisitas juga diartikan sebagai derajat atau potensi kerusakan akibat suatu bahan atau senyawa asing yang masuk ke dalam organisme. Uji toksisitas umum digunakan untuk menganalisis efek toksik yang terjadi pada hewan uji, diantaranya uji toksisitas akut (terjadi dalam waktu cepat), subakut (terjadi dalam waktu sedang), kronik (terjadi dalam waktu lama) ataupun letal (terjadi pada konsentrasi yang dapat menimbulkan kematian secara langsung) dan subletal (terjadi di bawah konsentrasi yang menyebabkan kematian secara langsung). Pengukuran toksisitas sangat kompleks karena tingkat keparahannya dapat bervariasi dari satu organ ke organ lain. Beberapa faktor yang mempengaruhi seperti umur, genetika, diet, jenis kelamin, kondisi fisiologis, serta status kesehatan makhluk hidup.

Hasil yang didapatkan pada uji toksisitas dapat dijadikan untuk memberikan informasi tentang tingkat bahaya bahan percobaan jika manusia terkena paparannya sehingga dosis dapat ditentukan untuk memastikan keselamatan manusia. Dengan mempelajari efek kumulatif, dosis yang dapat menyebabkan efek toksik, karsinogenik, teratogenik dan efek mutagenik dimungkinkan untuk menentukan bahaya yang disebabkan oleh paparan manusia terhadap suatu zat. Umumnya, informasi ini diperoleh dari serangkaian uji toksisitas nonklinis *in vivo* yang dirancang menggunakan hewan percobaan sebagai model, termasuk studi toksisitas akut oral, studi toksisitas subkronis oral, studi toksisitas kronis oral, teratogenesis, sensitisasi

kulit, iritasi pada mata, iritasi akut kulit, iritasi mukosa vagina, toksisitas akut kulit, dan toksisitas subkronis kulit.

Efek toksik biasanya merupakan hasil dari serangkaian proses biologis, biokimia dan fisik yang sangat kompleks dan sulit. Ada tiga tahapan prosesnya, yaitu tahap paparan, tahap toksokinetik dan tahap toksodinamik. Tahap paparan biasanya terjadi kontak antara makhluk hidup dengan zat toksin, kecuali zat radioaktif, hanya efek toksik atau farmakologis yang dapat terjadi setelah penyerapan xenobiotik. Tahap toksikinetik adalah fase di mana xenobiotik mudah diserap ke dalam aliran darah dan didistribusikan ke seluruh tubuh, termasuk target zat toksik. Secara bersamaan, beberapa molekul xenobiotik diekskresikan ke dalam sistem ekskresi. Tahap toksodinamik adalah interaksi antara toksin dan tempat kerja zat toksik dan proses terkait yang pada akhirnya menyebabkan toksisitas atau efek farmakologis muncul.

Pada umumnya toksisitas ditentukan sebagai *lethal concentration* 50% (LC50) atau *lethal dose* 50% (LD50) merupakan konsentrasi atau dosis pada keadaan tertentu yang mengakibatkan kematian pada setengah (50%) populasi makhluk hidup dalam rentang waktu tertentu. Nilai ini biasanya didapatkan dalam suatu uji toksisitas akut dengan menggunakan hewan uji. Berdasarkan lama timbulnya efek toksik pada hewan uji, uji toksisitas dibagi menjadi tiga yang akan di bahas di bawah ini.

#### **10.5.1 Uji Toksisitas Akut**

Uji toksisitas akut adalah studi untuk menentukan nilai LD50 dan tingkat racun maksimal yang bisa ditoleransi oleh hewan uji kemudian data tersebut akan diterapkan pada manusia. Uji ini umumnya menggunakan dua spesies hewan uji dengan dua jalur pemberian dan dengan pemberian dosis tunggal. Uji digunakan untuk mendeteksi kemungkinan gejala toksisitas pada manusia setelah periode waktu yang singkat setelah diberikan dosis tunggal secara oral atau diberikan dosis berulang yang diberikan selang waktu 24 jam yang diikuti dengan pengamatan selama 14 hari. Prinsip uji ini adalah memberikan bahan uji kepada beberapa kelompok hewan percobaan dengan dosis tertentu dan beberapa tingkatan dosis, masing-masing kelompok satu dosis, kemudian diamati gejala toksisitasnya atau kematiannya. Indikator toksisitas relatif jika kontak dengan manusia hanya dapat diambil dari hasil uji toksisitas menggunakan hewan

percobaan. Tujuan percobaan ini adalah untuk mendeteksi toksisitas intrinsik bahan, menentukan organ target, kerentanan spesies, memperoleh informasi efek racun setelah terjadi paparan, mendapatkan informasi awal untuk menentukan kadar dosis, menentukan pengujian toksisitas lebih lanjut, dan mendapatkan nilai LD50 dari suatu bahan.

### **10.5.2 Uji Toksisitas Subkronik**

Uji toksisitas subkronis adalah studi untuk mendapatkan organ target atau tempat kerja racun. Biasanya dikerjakan dalam 3 dosis, dikerjakan 4 minggu hingga 3 bulan, dan menggunakan 2 organisme yang berbeda. Pengujian toksisitas subkronik atau juga dikenal sebagai pengujian toksisitas jangka pendek dilakukan dengan pemberian bahan berulang kali, biasanya setiap minggu antara dua hari, berlangsung sekitar 10% dari umur hewan, contohnya untuk mencit selama 3 bulan. Uji toksisitas subkronis didasarkan pada hasil uji toksisitas akut. Dalam uji toksisitas subkronis dan kronis, ada istilah ADI (*Acceptance Daily Intake*), NOEL (*No Observed Effect Level*), dan NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*). Ada juga istilah MTD (*Maximum Tolerated Dose*) yaitu dosis tertinggi yang dapat ditoleransi tanpa menimbulkan adanya kematian signifikan pada hewan uji dari penyebab selain tumor.

### **10.5.3 Uji Toksisitas Kronis**

Pengujian toksisitas kronis adalah efek toksik yang disebabkan oleh penggunaan zat yang bersifat toksik selama berbulan-bulan atau bertahun-tahun. Uji toksisitas kronis adalah pengujian dengan mirip dengan uji toksisitas subkronis, menggunakan hewan uji selama 6 bulan atau lebih. Pengujian ini dilakukan dalam jangka waktu yang cukup lama dengan menggunakan bahan uji.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengawasan Obat dan Makanan. 2015. *Keracunan Karbon Monoksida*. Artikel BPOM. Jakarta: Sentra Informasi Keracunan Nasional,
- Donatus, A. I. 2001. *Toksikologi Dasar*. Yogyakarta: Fakultas Farmasi, Universitas Gajah Mada.
- Harmita dan Maskun. 2006. *Buku Ajar Analisis Hayati (Edisi 3)*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Hodgson, E dan Levi, P. E. 2000. "*A Textbook of Modern Toxicology*" (2nd Ed.). Singapore: Mc Graw Hill Co.
- I Made Agus. 2006. *Buku Ajar Toksikologi Umum*. Denpasar: Jurusan Farmasi, Fakultas MIPA, Universitas Udayana.
- Loomis, T. A. 1978. *Toksikologi Dasar*, Donatus, A. (terj.). Semarang: IKIP Semarang Press.
- Lu, F. C. 1995. *Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko*. Nugroho, E. (terj.). Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Rachmawati, Aisyah. 2013. *Makalah Toksikologi*. Malang: Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Malang.





# BAB 11

## LD50 DAN LC50

*Oleh Waode Rustiah*

### 11.1 Pendahuluan

Dalam perkembangan kehidupan manusia sejak dulu hingga saat ini, manusia menunjukkan keahlian dan sangat terampil dalam melakukan penelitian berbagai senyawa kimia, baik yang peruntukannya untuk menjaga kesehatan maupun hal lain yang bersifat mematikan (*toxic*). Aplikasi ilmu terapan saat ini, obat dan racun dieksplorasi secara mendalam oleh manusia untuk mendapatkan pemahaman yang pasti akan proses dan mekanisme reaksi yang terjadi di dalam tubuh manusia dan memberikan pertolongan yang terbaik jika terjadi keracunan yang disebabkan oleh obat-obatan, makanan atau bahan kimia beracun lainnya.

Berbagai percobaan dengan senyawa beracun dari alam dan sintetik telah dimulai dan diuji pada hewan laboratorium (*in vivo*). Dari hasil uji toksisitas, dimungkinkan untuk menentukan kadar bahan kimia yang paling aman dan tepat untuk digunakan guna meminimalkan kemungkinan efek toksik. Namun, batas aman yang dihasilkan adalah batas aman tunggal untuk senyawa tersebut. Toksisitas dapat terjadi bila terkena lebih dari satu bahan kimia berbahaya. Paparan lebih dari satu bahan kimia dapat meningkatkan efek toksik, menghasilkan efek toksik yang lebih kuat, atau mengurangi dosis bahan kimia yang menyebabkan efek toksik.

Istilah LD50 dan LC50 sering dijumpai dalam toksikologi, yang merupakan parameter berbagai senyawa kimia, dimana menggambarkan banyaknya zat yang dapat mengakibatkan kematian. Kedua parameter LD50 dan LC50 digunakan untuk mengukur karakter mematikan dari suatu zat pada suatu populasi ketika terpapar, hingga menyebabkan kematian 50% dari populasi tersebut.

Apa definisi LD50 dan LC50? LD50 merupakan dosis spesifik dengan satuan miligram dari berat zat uji per kg berat badan (BB) hewan uji dan respons 50% terhadap kematian pada hewan uji

populasi yang diperoleh selama kurun waktu tertentu. Contoh: LD50 = sebanyak 1500 mg/kg untuk KCl bubuk atau kalium klorida berarti 1500 mg/kg total berat badan tikus diperlukan untuk mematikan 50% populasi tikus. Tepatnya jika Anda memiliki 100 ekor tikus, setiap tikus memiliki berat 0,5 kg dan Anda membutuhkan 750 mg untuk membunuh 50 tikus. Sedangkan LC50 adalah konsentrasi yang menyebabkan kematian pada 50% hewan uji. LD50 penting untuk mengetahui batas bahaya dari suatu bahan. Mencapai LD50 sangat berbahaya, jadi penting untuk memastikan bahwa bahan kimia digunakan sesuai kebutuhan atau secukupnya saja.

Secara sederhana, bab ini menjelaskan uji dosis mematikan (LD50) dan konsentrasi mematikan (LC50) yang terkait dengan toksikan akut.

## **11.2 Lethal Dose 50 (LD50)**

Toksisitas suatu bahan dapat digambarkan sebagai kemampuan bahan untuk menciderai organisme hidup. Keracunan timbul disebabkan oleh pemberian atau dosis yang tidak tepat. Interaksi antara toksin dan sel tubuh umumnya bersifat *reversibel* dan *irreversibel*. Obat adalah zat kimia yang bisa mempengaruhi proses kehidupan makhluk hidup. Pada dasarnya semua obat itu bersifat toksik. Overdosis atau pemberian yang tidak tepat dapat menyebabkan keracunan.

Uji toksisitas mencakup berbagai pengujian yang dirancang untuk mengevaluasi secara umum keseluruhan efek yang ditimbulkan pada hewan percobaan. Pengujian toksisitas meliputi pengujian toksisitas akut, subkronik, dan kronik. Pengujian toksisitas spesifik termasuk uji augmentasi, karsinogenisitas, mutagenisitas, teratogenisitas, reproduksi, kulit dan mata dan perilaku.

### **11.2.1 Pengertian Lethal Dose 50 (LD50)**

Lethal Dose 50 (LD50) adalah dosis tertentu yang dinyatakan dengan miligram berat bahan uji per kg berat badan (BB) hewan uji yang menyebabkan reaksi mematikan 50% pada populasi hewan percobaan dalam jangka waktu tertentu. Keputusan Pemerintah dengan No. 85 Tahun 1999, menyatakan bahwa nilai ambang batas dosis mematikan (LD50) yaitu 15 mg/kg berat tubuh secara oral. Lethal dose 50 (LD50) merupakan bagian dari alur pengujian limbah bahan

berbahaya dan beracun (B3) dengan menggunakan mencit (*mus musculus*) sebagai hewan uji.

Menurut *Environmental Protection Agency* (EPA 2002), LD50 dipergunakan dalam menentukan 50% kematian pada hewan uji dalam waktu 24-96 jam. Efek LD50 biasanya terukur dalam dosis bertingkat. Dosis bertingkat terdiri dari kelompok kontrol dan tingkatan takaran yang berbeda. Toksisitas akut untuk mengetahui reaksi hewan uji terhadap takaran yang diujikan. Perhitungan LD50 berdasar pada banyaknya kematian hewan uji. Dimana pengamatan hewan uji diamati dengan kurun waktu 24 jam. Dalam beberapa kasus, dapat memakan waktu hingga 7-24 hari. Dalam percobaan, LD50-nya dengan nilai 317,7 mg/kg berat badan. Jika dosis yang digunakan lebih besar dari dosis yang dipersyaratkan, maka sebanyak 100% hewan uji akan mati.

### **11.2.2 Kisaran Toksisitas untuk Lethal Dose 50**

Secara umum, istilah toksisitas lebih bersifat kualitatif daripada kuantitatif. Kerusakan ini diakibatkan karena banyaknya bahan kimia yang diserap tubuh akibat tingginya dosis paparan yang diterima. Menurut Frank C. Lu, untuk menentukan efek yang terkait dengan durasi pajanan penelitian toksikologi, maka dibagi menjadi:

- a. Uji toksisitas akut, dilakukan dengan memberikan zat toksik sekali atau lebih dalam durasi 24 jam kepada yang sedang diuji.
- b. Uji toksisitas jangka pendek (studi sub-akut atau sub-kronis), dilakukan dengan pemberian toksikan secara berulang, baik dilakukan setiap harinya atau pemberian sebanyak lima kali per minggu, dengan jangka waktu kurang lebih 10% dari masa hidup hewan uji.
- c. Uji toksisitas jangka panjang, dilakukan dengan pemberian zat kimia secara berulang selama periode hidup hewan uji atau setidaknya sebagian dari hidupnya.

Kisaran nilai LD50 untuk menentukan tingkat toksisitas suatu zat. Kisaran LD50 semakin besar, maka akan linier dengan kisaran toksisitasnya. Toksikan mengalami proses penghancuran sedimen di saluran pencernaan (librasi). Toksikan tersebut kemudian diserap oleh darah dan limfe dan didistribusikan ke seluruh tubuh. Selanjutnya,

toksikan mengalami proses toksikodinamik di dalam sel. Toksikodinamika yaitu proses reaksi yang terjadi antara toksin dan reseptor. Biotransformasi terjadi setelah reaksi toksik dengan reseptor terjadi. Zat terbaru terbentuk dalam proses biotransformasi, yang mana diproduksi mungkin lebih atau kurang beracun dari pendahulunya, hingga menyebabkan detoksikasi, juga dapat menyebabkan gangguan fungsi sel tubuh oleh zat baru yang lebih toksik.

**Tabel 11.1 : Klasifikasi toksisitas LD<sub>50</sub>**

<b>Kategori</b>	<b>Dosis</b>
Supertoksik	<5 mg/kgBB atau kurang
Amat sangat toksik	5-50 mg/kgBB
Sangat toksik	50-500 mg/kgBB
Toksik sedang	0,5-5 g/kgBB
Toksik ringan	5-15 g/kgBB
Praktis tidak toksik	>15 g/kgBB

Sumber: Lu (1995)

Jika batas dosis maksimum telah tercapai, tetapi LD<sub>50</sub> tidak diketahui, maka hasilnya ditulis sebagai "LD<sub>50</sub> lebih dari 5000 mg/KgBB". Kemudian, jika dosis maksimum yang dapat diberikan kepada hewan uji telah tercapai tanpa menyebabkan kematian, dosis tertinggi dinyatakan sebagai *pseudo* LD<sub>50</sub> (LD<sub>0</sub>). Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai LD<sub>50</sub>, antara lain spesies, strain, jenis kelamin, umur, berat badan, jenis kelamin, status gizi, dan isi lambung hewan coba. Metode pemberian dosis juga mempengaruhi hasil, termasuk waktu pemberian, suhu lingkungan, kelembaban, serta aliran udara.

### **11.2.3 Bahan Kimia Beracun dan Faktor yang Menentukan Tingkat Keracunan**

Bahan kimia beracun dapat membahayakan kesehatan manusia bahkan kematian, meskipun dalam jumlah kecil. Efek

toksik dalam sistem biologis tidak terjadi kecuali bahan kimia mencapai tempat yang sesuai di dalam tubuh dan terdapat dalam konsentrasi yang tepat untuk menghasilkan toksisitas. Terjadinya reaksi toksik atau tidak, itu tergantung pada sifat kimia dan fisik zat, keadaan paparan, dan kerentanan sistem biologis. Oleh karena itu untuk mengetahui karakteristik lengkap tentang bahaya potensial dan toksisitas dari suatu bahan kimia tertentu, maka perlu diketahui tidak hanya efek-efek dan dosis yang diperlukan untuk menghasilkan efek tersebut, tetapi juga informasi mengenai sifat bahan kimianya sendiri, pemaparannya, dan subjeknya. Faktor utama yang mempengaruhi toksisitas yang berhubungan dengan situasi paparan terhadap bahan kimia tertentu adalah jalur masuk (*route of entry*) ke dalam tubuh, jangka waktu dan frekuensi paparan.

Terdapat 3 jalur utama masuknya zat beracun ke dalam tubuh manusia, antara lain melewati saluran pencernaan atau makanan (*gastrointestinal*), pernafasan (*inhalasi*), dan kulit (*topikal*). Zat beracun biasanya masuk ke saluran pencernaan dan diserap di perut. Zat beracun yang masuk ke paru-paru melalui saluran udara dan diserap ke dalam alveoli. Secara umum, kulit sangat kedap, dalam mencegah racun masuk ke dalam tubuh. Namun, terdapat pula bahan kimia dapat terserap melalui kulit dalam jumlah besar dan mempengaruhi seluruh tubuh. Bahan kimia diserap melalui folikel rambut atau sel kelenjar keringat. Ketika zat beracun terserap ke dalam darah, mereka dengan cepat didistribusikan ke seluruh tubuh. Namun, beberapa zat beracun dihilangkan oleh mekanisme alami tubuh melalui urin, empedu, dan paru-paru. Beberapa juga mengalami biotransformasi dan bioaktivasi. Apa yang lebih berbahaya jika ada proses bioaktivasi di mana zat beracun diubah menjadi zat yang lebih beracun oleh metabolisme tubuh?

Faktor-faktor yang menentukan tingkat toksisitas meliputi sifat fisik bahan kimia, interaksi kimia, dosis, lama paparan, pelaksanaan pengawasan, dan keadaan fungsi organ. Sifat kimia ada dalam bentuk padat, cair, dan gas. Dalam bentuk cairan dan gas yang mudah dihirup merupakan bentuk yang lebih berbahaya, dan bentuk partikel ketika terhirup, semakin kecil partikelnya, semakin besar kemungkinan mereka disimpan di paru-paru. Suatu interaksi kimia dikatakan aditif jika efeknya adalah jumlah dari dua bahan kimia. Contohnya

organofosfat yang mengandung enzim kolinesterase bersifat sinergis bila efeknya lebih besar daripada jumlah pemberiannya sendiri-sendiri saja. Dosis ditentukan oleh konsentrasi, semakin tinggi konsentrasi dan jumlah bahan kimia yang masuk ke dalam tubuh, semakin besar efek toksiknya. Durasi paparan dapat disimpulkan dari gejala yang ditimbulkan baik secara akut, subakut, maupun kronis. Pemantauan penggunaan bahan kimia dan obat-obatan menjadi penting dalam mengetahui konsentrasinya yang dapat mengakibatkan toksin selama penggunaan. Dalam hal ini, organ penting seperti hati dan ginjal memegang peran utama dalam mencegah keracunan dalam tubuh, karena merupakan tempat terbesar untuk penyerapan, metabolisme, dan ekskresi dalam tubuh.

#### **11.2.4 Ambang Batas Bahan Toksin**

Toksikan merupakan bahan yang menyebabkan efek toksik, dimana efek toksik yang disebabkan oleh bahan mengalami biotransformasi pada sistem biologis. Respon terhadap zat toksik ini tergantung pada sifat fisik dan kimia, serta paparan dan kerentanan sistem biologis. Zat beracun masuk ke dalam tubuh melalui saluran pencernaan, saluran pernapasan, kulit, saluran reproduksi, dan mata.

Untuk mengetahui seberapa beracun suatu bahan, semakin rendah nilai LD50 suatu bahan, semakin berbahaya bagi tubuh. Menentukan ambang batas secara akurat untuk bahan beracun tanpa memberikan efek samping merupakan hal yang urgent. Beberapa hal yang menjadi perhatian dalam menentukan ambang batas, antara lain:

- a. Sampel memiliki ukuran bervariasi dan perulangan pengambilan sampel
- b. Pengamatan jumlah titik akhir
- c. Jumlah dosis atau konsentrasi zat beracun
- d. Mampu dalam mengukur titik akhir
- e. Keanekaragaman intrinsik titik akhir pada populasi hewan coba
- f. Mengetahui uji statistik yang akan digunakan

### 11.3 Lethal Concentration 50 (LC<sub>50</sub>)

Toksisitas dapat diuraikan sebagai kemampuan suatu zat untuk menyebabkan kerusakan. Uji toksisitas dalam penghitungan LC<sub>50</sub> yaitu uji hayati yang digunakan untuk mengetahui tingkat toksisitas suatu zat pencemar, dan juga sekaligus diaplikasikan dalam memantau suatu limbah secara rutin. Terjadi atau tidaknya reaksi toksik tergantung semua pada sifat kimia dan fisik bahan kimia, paparan, dan kerentanan sistem biologis subjek.

Proses masuknya senyawa kimia ke dalam tubuh manusia adalah melalui mulut dengan memakan makanan, bernapas, dan kontak kulit. Zat beracun masuk ke saluran pencernaan melalui makanan dan minuman yang tertelan dan diserap di perut. Senyawa beracun jika terhirup melalui pernafasan dan menuju ke dalam paru-paru. Beberapa bahan kimia diserap melalui kulit dalam jumlah yang cukup dapat menyebabkan efek sistemik. Bahan-bahan beracun ini diserap ke dalam aliran darah dan dengan cepat didistribusikan ke jaringan tubuh lainnya. Secara umum, beberapa bahan beracun dapat diekskresikan secara alami melalui urin, dan beberapa akan mengalami biotransformasi dan bioaktivasi.

Banyaknya dosis atau jumlah senyawa yang bersifat toksik merupakan hal yang utama dalam mengetahui tingkat toksisitasnya. Termasuk senyawa kimia yang murni, sangat toksik (beracun). Misalnya senyawa oksigen dengan tekanan parsial 2 atm dikategorikan sebagai racun, dimana jika konsentrasi oksigen terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan sel. Analisis statistik dapat digunakan untuk menentukan nilai LC<sub>50</sub>. Dalam penelitian analisis LC<sub>50</sub>, adapun tahapan penelitian diantaranya:

- a. Tahapan aklimatisasi, yaitu bertujuan untuk mengkondisikan hewan uji agar bisa beradaptasi dengan keadaan fisik laboratorium (lingkungan pengujian) dengan cara berangsur-angsur dipindahkan dari 100% air pemeliharaan ke 100% air uji. Selama aklimatisasi hewan uji diberi aerasi dengan cukup. Tahap aklimatisasi ini dilakukan selama 14 hari dan dilakukan pengukuran parameter pH, DO dan suhu setiap harinya yaitu 1 x 24 jam. Apabila pada tahap aklimatisasi ini kematian hewan uji >3%, maka hewan uji dianggap tidak memenuhi syarat dalam pengujian.



- b. Analisis pendahuluan, bertujuan untuk menentukan batas kisaran konsentrasi kritis bahan uji yang digunakan untuk penentuan LC50-96h yaitu konsentrasi tertinggi dimana hewan uji tidak mengalami kematian, dan konsentrasi ambang atas yaitu konsentrasi terendah yang menyebabkan kematian 100%.
- c. Analisis dasar, dilakukan untuk mendapatkan nilai LC50-96h yang lebih teliti dengan rentang konsentrasi yang mendekati kematian 50%.
- d. Analisis lanjutan, yaitu setelah batas kritis diketahui, maka konsentrasi akut ditentukan berdasarkan hasil deret logaritma yang telah dimodifikasi.

### 11.3.1 Pengertian Lethal Concentration 50 (LC50)

Konsentrasi letal 50 (LC50) adalah konsentrasi suatu zat yang menimbulkan kematian 50% organisme uji akibat terpapar. Parameter ini sangat umum digunakan ketika suatu organisme terkena konsentrasi zat yang tidak diketahui dalam air atau udara. Dalam hal ini, perlu memperhatikan dengan jelas waktu pemaparan dan konsentrasi.

Lethal concentration 50 juga merupakan perhitungan dalam menentukan aktivitas suatu senyawa atau ekstrak. LC50 menunjukkan konsentrasi ekstrak yang dapat membunuh sebanyak 50% organisme uji.

Dalam memperkirakan tingkat kematian sampel limbah cair, konsentrasi ekstrak yang mematikan secara statistik dapat dianalisis menggunakan uji *Whole Effluent Toxicity* (WET). Untuk Uji *Whole Effluent Toxicity* (WET) akut, dalam memenuhi titik akhir, konsentrasi limbah 50% organisme mati selama pengujian (LC50) yang digunakan. Untuk mengetahui seberapa besar tingkat toksisitas dari ekstrak tumbuhan, maka dapat ditentukan dengan menghitung nilai LC50. Dikatakan beracun jika nilai LC50 kurang dari 1000 µg/ml, sebaliknya dikatakan tidak beracun jika nilai LC50 lebih besar dari 1000 µg/ml. Tingkat toksisitas menunjukkan seberapa potensial aktivitasnya sebagai antitumor. Semakin beracun suatu senyawa, semakin kecil nilai LC50.

### **11.3.2 Klasifikasi Lethal Concentration 50**

Istilah toksisitas lebih bersifat kualitatif daripada kuantitatif. Toksisitas adalah potensi merusak dari bahan kimia terhadap makhluk hidup. Kerusakan ini ditentukan oleh jumlah bahan kimia yang diserap oleh tubuh karena tingkat keparahan paparan.

Dalam pengklasifikasian LC50 ditentukan berdasarkan lamanya uji toksisitas dan penambahan larutan uji ke dalamnya, analisis toksisitas LC50 diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Berdasarkan waktu, dimana analisis biologis dilakukan dalam rentang waktu jangka pendek, menengah dan panjang.
2. Berdasarkan metode penambahan larutan, dengan uji statistik biologi, perubahan larutan dan metode aliran larutan.
3. Berdasarkan tujuan analisis yaitu dengan pemantauan air limbah, pengujian kimia, penentuan toksisitas, serta perkembangan organisme uji.

### **11.3.3 Uji Toksisitas Lethal Concentration 50 (LC50)**

Derajat toksisitas berhubungan dengan jumlah atau dosis senyawa. Uji statistik sering digunakan untuk menentukan nilai LC50, termasuk menentukan: a). seberapa potensial suatu senyawa sebagai racun, b). mengenali kondisi biologis/lingkungan untuk munculnya efek toksik, dan c). mengkarakterisasi aksi/efek yang ditimbulkan. Pada umumnya digunakan hewan uji toksisitas dalam menganalisis. Dasar hipotesis ini adalah bahwa studi toksisitas dengan spesies yang sesuai memiliki nilai ekstrapolatif bagi manusia.

Dalam menggambarkan efek toksikan, beberapa istilah yang umum digunakan, antara lain (Guthrie dan Perry, 1980):

- a. Akut: jika respons terhadap stimulus yang menyebabkan efek terburuk berlangsung cepat dan singkat. Misalnya pada organisme akuatik, termasuk ikan, pengujian biasanya dikerjakan selama 4 hari (96 jam), pengujian mamalia dikerjakan selama 24 jam hingga 2 minggu. Pada hewan coba, umumnya menggunakan angka kematian yang digunakan dalam menentukan seberapa besar bahan toksik tersebut berpengaruh.

- b. Sub akut: menunjukkan respons yang rendah terhadap stimulus jika dibandingkan dengan respons akut. Membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menjadi kronis.
- c. Kronis : menunjukkan bagaimana jika dalam waktu lama respon terhadap stimulus berlangsung terus menerus, yaitu sekitar 1-10% dari total waktu hidup organisme. Untuk tujuan bioassay, tes kronis pada organisme akuatik, spesies uji dipelajari sepanjang siklus hidup mereka dalam memberikan efek pada pertumbuhan, reproduksi, dan perkembangan. Pada mamalia, percobaan kronis dipelajari selama satu tahun atau lebih untuk menentukan potensi kanker dari suatu stimulan.
- d. Lethal : menunjukkan bagaimana respon suatu stimulus dari suatu konsentrasi yang menyebabkan kematian secara langsung.
- e. Sub lethal: menunjukkan bagaimana respons terhadap stimulus dan konsentrasi di bawah level letal.

Berikut disajikan tingkatan nilai toksisitas LC<sub>50</sub> (Tabel 11.1), yaitu:

**Tabel 11.1 : Tingkat Nilai Toksisitas LC<sub>50</sub> (Anderson, 1978)**

No.	Nilai LC50 (µg/mL)	Tingkat Toksisitas
1	0-250	Sangat Toksik
2	250-500	Toksik
3	500-750	Sedang
4	750-1000	Tidak Toksik

### 11.3.4 Analisis dan Perhitungan LC50 dari Brine Shimp Lethality Test

Penentuan nilai LC50 bisa dilakukan dengan banyak cara, diantaranya menggunakan metode grafik, perhitungan matematis dan dengan grafik konsentrasi log probit. Umumnya, perhitungan nilai toksisitas (LC50) dengan menggunakan metode analisis Probit Bosvine-Nash. Dalam menghitung estimasi nilai LC50 dilakukan perhitungan antara lain:

- a. Probit Empiris
- b. Keuntungan yang diharapkan
- c. Probit yang Dikerjakan
- d. Probit sementara.

Perhitungan nilai LC50 merupakan perhitungan dalam menentukan seberapa aktif ekstrak atau senyawa tersebut. Tujuan dari LC50 adalah untuk menentukan berapa konsentrasi suatu ekstrak dapat membunuh 50% organisme uji. Penentuan LC50 banyak dipakai dalam uji toksisitas farmakologis. Saat ini penelitian fitokimia lebih ditekankan pada penelitian dengan tujuan utama memperoleh senyawa bioaktif, dan korelasi statistiknya sangat valid dengan bioaktivitas yang diharapkan.

Metode yang dikembangkan dalam pengujian sitotoksitas untuk mencari produk alam yang berpotensi sebagai bahan antikanker, salah satunya adalah metode *Brine Shrimp Lethality Test* (BST). BST digunakan untuk menguji bahan beracun dan digunakan sebagai bioassay untuk penelitian bahan alami. Misalnya dalam pengujian efek toksik dengan larva *Artemia salina* sebagai organisme uji (test animal). Perhitungan menggunakan metode LC50 dimana kematian setelah 6 jam paparan termasuk dalam kategori LC50 akut, dan paparan setelah 24 jam termasuk dalam kelompok LC50 kronis, namun dalam proses umumnya dilakukan dengan menggunakan perhitungan LC50 setelah melewati 24 jam, mengingat ekstrak yang sulit larut, dan sangat membutuhkan waktu yang lama untuk larut sempurna. Suatu ekstrak dikatakan toksik jika nilai  $LC50 < 1000 \mu\text{g/mL}$ .

Pemikiran akan efek farmakologi sebagai toksikologi sederhana pada dosis sangat rendah dan senyawa antitumor sebagian besar bersifat sitotoksik, maka digunakanlah "*Brine Shrimp Lethality Test*". Namun, tes mematikan sederhana ini, tidak memberikan hasil yang signifikan untuk anti-tumor, tetapi merupakan indikator sitotoksitas yang baik dengan tes anti-tumor lainnya, seperti pengujian leukemia dari hewan tikus.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hodgson, E and P.E. Levi. 2000. "A Textbook of Modern Toxicology", 2<sup>sc</sup>Ed., Mc Graw Hill Co, Singapore, p. 389-430.
- Harmita & Maskun. 2006. Buku Ajar Analisis Hayati Edisi 3. Buku Kedokteran EGC. Jakarta
- I Made Agus, Rury. 2006. Toksikologi Umum, Buku Ajar, Jurusan Farmasi, Fakultas MIPA, Universitas Udayana
- Lu, F.C. 1995. "Toksikologi dasar, asas, organ sasaran, dan penilaian resiko", UI- Press, Jakarta.
- Raini, Mariana. 2009. Artikel Toksikologi Insektisida Rumah Tangga dan Pencegahan Keracunan, Media Penelitian Pengembang. Kesehat. Volume XIX Tahun 2009, Suplemen II.
- Rossiana, Nia. 2006. Uji Toksisitas Limbah Cair Tahu Sumedang Terhadap Reproduksi *Daphnia carinata* King. Jurnal. Bandung: FMIPA Biologi, Universitas Padjajaran.
- Supriyono, 2007, Pengujian Lethal Dosis (LD 50) Ekstrak Etanol Biji Buah Duku (*Lansium domestica* corr) pada Mencit (*Mus musculus*), SKRIPSI, Fakultas Kedokteran Hewan, IPB.
- Taufik I, dkk. 2010. Pencemaran Pestisida Pada Lahan Perikanan Di Daerah Karawang – Jawa Barat. Prosiding Seminar Limnologi V tahun 2010. Balai Riset Perikanan Budidaya Air Tawar, Bogor.
- Wispriyono Bambang, dkk. 2013, Tingkat Keamanan Konsumsi Residu Karbamat dalam Buah dan Sayur Menurut Analisis Pascakolom Kromatografi Cair Kinerja Tinggi, Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional Vol. 7, No. 7, Februari 2013.

# BAB 12

## FAKTOR PENENTU RISIKO TOKSISITAS

*Oleh Tri Joko Daryanto*

### 12.1 Terminologi Toksisitas

Toksikologi dalam konteks lingkungan merupakan kajian dampak polutan terhadap struktur dan fungsi sistem ekologi (Landis and Yu, 1999). Pengetahuan tentang toksikologi lingkungan dilandasi proses evaluasi dampak bahan beracun terhadap sistem biologis.

Toksisitas secara umum merupakan potensi kerusakan akibat senyawa asing beracun yang masuk organisme atau lingkungan. Ragam tingkatan toksisitas antara lain: akut (durasi cepat), subakut (durasi sedang), kronik (durasi lama) ataupun letal (konsentrasi yang mematikan) dan subletal (di bawah konsentrasi penyebab kematian langsung). Kompleksitas pengukuran toksisitas sebagai akibat dari beragamnya tingkat keparahan satu organ ke organ lain, rentang usia, genetika, jenis kelamin, pola diet, kondisi fisiologis, dan status kesehatan. Toksisitas diekspresikan sebagai konsentrasi mematikan 50% (LC<sub>50</sub>) atau dosis mematikan 50% (LD<sub>50</sub>) yaitu konsentrasi yang dalam kondisi spesifik berakibat kematian pada setengah (50%) populasi organisme dalam jangka waktu tertentu (Irianti *et al.*, 2017).

Beberapa negara menerapkan peraturan perundangan khusus untuk mengendalikan tingkat toksikologi lingkungan. Misalnya, pengendalian polusi air dengan tujuan pemulihan kualitas perairan. Peraturan tersebut mengatur jumlah maksimum konsentrasi racun yang berada di air buangan. Hasil uji toksisitas pada limbah yang berasal dari lokasi manufaktur dengan tujuan untuk menetapkan kriteria dalam mengatur batas maksimal kadar toksisitas yang dihasilkan kegiatan manufaktur sehingga tidak merusak lingkungan.

### 12.2 Mekanisme Toksisitas

Proses toksik dalam tubuh melibatkan senyawa dengan kadar racun tertentu, berinteraksi dengan komponen sel tubuh sehingga memunculkan efek toksik. Proses tersebut menunjukkan adanya

hambatan metabolisme oksidatif dan sistem saraf pusat (SSP), adanya gejala karsinogen akibat interaksi dengan asam nukleat, ataupun cedera pada sistem reproduksi. Kasus keracunan polutan dapat diatasi dengan transformasi metabolisme, atau ekskresi.

Dampak buruk polutan terhadap organisme adalah sebagai berikut. (1) Kerusakan struktur sel, (2) Kontaminasi kimia pada konstituen sel, (3) Kerusakan enzim, dan (4) Beberapa dampak tidak langsung lainnya.

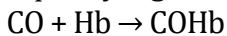
### **12.2.1 Kerusakan Struktur Sel**

Racun menyebabkan kerusakan organ, baik struktur maupun jaringan. Polutan udara seperti SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, dan fluorida dikenal sebagai fitotoksik. Tanaman yang terpapar polutan ini pada konsentrasi tertentu dapat mengalami kerusakan struktural pada sel. Konsentrasi rendah SO<sub>2</sub> melukai epidermis dan sel penjaga, meningkatkan konduktansi stomata dan masuknya polutan yang lebih besar ke dalam tanaman (Black and Unsworth, 1980).

Ketika dihirup oleh hewan atau manusia, O<sub>3</sub> menyebabkan kerusakan lapisan permukaan sistem pernapasan. Pada kadar tinggi, O<sub>3</sub> menyebabkan edema paru (Mueller and Hitchcock, 1969), yaitu, kebocoran cairan ke bagian paru-paru.

### **12.2.2 Kombinasi Kimia Langsung dengan Konstituen Sel**

Polutan dapat bergabung dengan bagian sel dan berbentuk kompleks. Hal ini sering menyebabkan gangguan fungsi. Misalnya, karbon monoksida (CO) dalam darah mudah berikatan dengan hemoglobin (Hb) yang membentuk karboksihemoglobin (COHb) seperti yang ditunjukkan di bawah ini:



COHb mengganggu fungsi hemoglobin dalam tubuh khususnya sistem pertukaran karbon dioksida-oksigen di paru-paru dan jaringan.

Kadmium merupakan logam berat beracun yang diserap tubuh dan terikat pada protein metallothionein. Akumulasi kadmium pada ginjal menyebabkan disfungsi tubulus dengan proteinuria (Friberg *et al.*, 1974).

### 12.2.3 Pengaruhnya Terhadap Enzim

Pengaruh yang paling menonjol dari reaksi terjadi dalam sel adalah katalisasi protein yang disebut enzim. Seperti halnya katalis yang lain, fungsi dasar enzim adalah untuk meningkatkan laju reaksi. Semua enzim protein berbentuk bulat, dengan masing-masing enzim memiliki fungsi spesifik karena struktur bolanya yang spesifik. Namun, aktivitas optimal banyak enzim tergantung pada keberadaan zat nonprotein yang disebut kofaktor. Kemitraan molekuler protein-kofaktor disebut holoenzim dan menunjukkan aktivitas katalis maksimal.

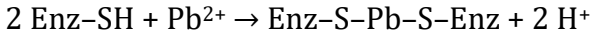
Protein (apoenzim, tidak aktif atau kurang aktif)	+	Kofaktor (ion anorganik atau zat organik, tidak aktif sebagai katalis)	↔	Protein – Kofaktor (kompleks) (holoenzim, katalis aktif optimal)
---	---	--	---	--

Kofaktor organik mencakup beberapa zat dengan struktur yang beragam dan biasanya disebut koenzim. Koenzim sangat penting dalam nutrisi hewan dan manusia karena kebanyakan dari mereka adalah vitamin atau zat yang dihasilkan dari vitamin. Misalnya, vitamin K setelah dikonsumsi tidak berubah dan digunakan langsung sebagai vitamin K. Vitamin niasin setelah dicerna, Namun, dikonversi ke salah satu dari dua kofaktor nikotinamida adenin dinukleotida (NADH) atau nikotinamida adenin dinukleotida fosfat (NADPH). Di sisi lain, kofaktor anorganik mencakup beberapa ion inorganik sederhana seperti ion  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $K^+$ , dan  $Na^+$ .

Beberapa cara dimana polutan lingkungan dapat menonaktifkan sistem enzim dijelaskan di bawah ini:

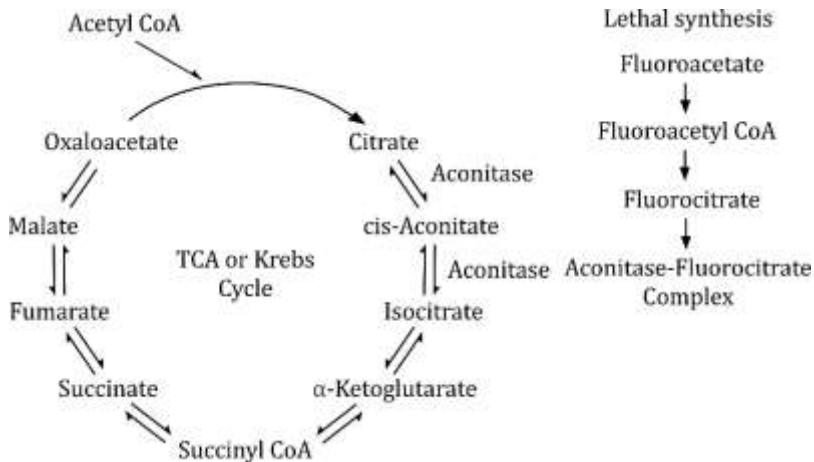
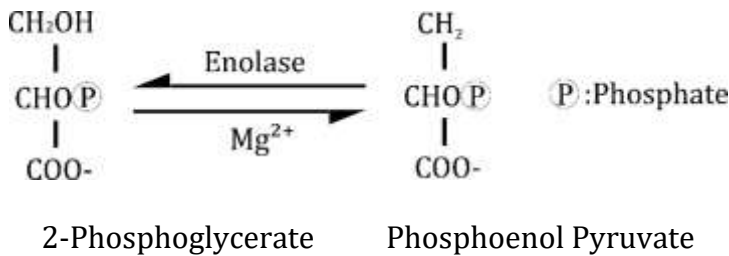
1. Polutan menyatu dengan enzim dan merusaknya. Logam berat merkuri, timbal, atau kadmium dapat menempel pada gugus tiol atau SH pada molekul enzim yang membentuk ikatan dengan atom belerang. Hal ini akan menyebabkan rusaknya enzim jika SH menjadi satu dengan enzim. Transaminase dan aminolevulinate dehidratase rentan terhadap penghambatan oleh timbal karena mengandung gugus SH.





Konformasi protein enzim dapat diubah melalui gangguan ikatan hydrogen.

- Banyak enzim membutuhkan kofaktor, seringkali kation, untuk aktivitas mereka. Ion-ion ini menyediakan pusat elektrofilik di situs aktif. Polutan dapat menghambat enzim dengan menonaktifkan kofaktor yang terlibat. Misalnya, fluorida dikenal sebagai zat penghambat yang kuat, enzim glikolitik yang membutuhkan ion  $\text{Mg}^{2+}$  untuk aktivitasnya. Di hadapan fosfat, fluorida menonaktifkan kofaktor  $\text{Mg}^{2+}$  yang menyebabkan pembentukan magnesium fluorofosfat.



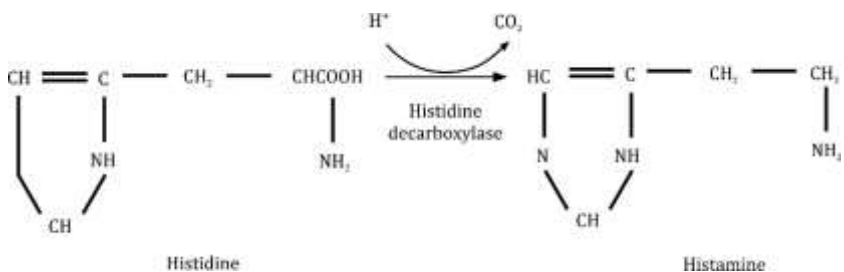
**Gambar 12.1 : 1** SINTESIS FLUOROCITRATE MENGHAMBAT SIKLUS TCA

Sumber: (Landis and Yu, 1999)

3. Polutan menghasilkan toksisitas dan merusak enzim. Misalnya, Be (berilium) bersaing dengan Mg dan Mn, dan Cd menggantikan Zn dalam beberapa enzim.
4. Aktivitas enzim dihambat akibat metabolit beracun. Sodium fluoroacetate, yang dikenal sebagai racun tikus 1080, sangat beracun bagi hewan. Proses toksik bukan karena natrium fluoroacetate itu sendiri tetapi karena produk konversi metabolisme fluorocitrate yang terbentuk melalui proses reaksi yang dikenal sebagai "sintesis mematikan", seperti yang ditunjukkan pada gambar 12.1.

#### 12.2.4 Dampak Tidak Langsung dari Adanya Polutan

Adanya polutan menyebabkan pelepasan zat-zat tertentu yang merugikan sel. Setelah menghirup serbuk sari, muncul respons alergi yang menyebabkan gejala demam. Hal ini disebabkan oleh pelepasan histamin, suatu zat yang terbentuk dari histidin asam amino melalui dekarboksilasi gambar 12.2. Histamin dibuat dan disimpan dalam sel darah putih dan di banyak sel tubuh lainnya. Pelepasan histamin menyebabkan syok berat sebagai konsekuensi dari alergi yang dipicu oleh obat-obatan dan bahan kimia tertentu. Histamin adalah zat kimia yang paling banyak terdapat di vasodilator dan menyebabkan terjadinya pelebaran pembuluh darah. Stimulat sekresi pepsin dapat mengurangi tekanan darah dan dapat menyebabkan syok jika cukup parah. Dalam konsentrasi berlebihan histamin dapat menyebabkan kolaps pembuluh darah.



**Gambar 12.2 :** Pembentukan Histamin Dari Histidin

Sumber: (Landis and Yu, 1999)

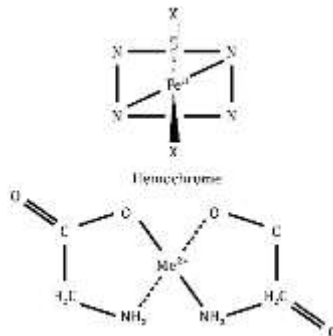
Antihistamin seperti diphenhydramine dan antergan adalah senyawa yang mirip dengan histamin secara struktural, dan dapat

mencegah perubahan fisiologis yang dihasilkan oleh histamin dengan menghambat fungsinya.

Contoh berikut melibatkan chelation, proses di mana atom-atom logam dalam larutan "diasingkan" oleh molekul berbentuk cincin, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 16.3 Cincin atom, biasanya dengan O, N, atau S sebagai donator elektron, memiliki logam sebagai akseptor elektron.

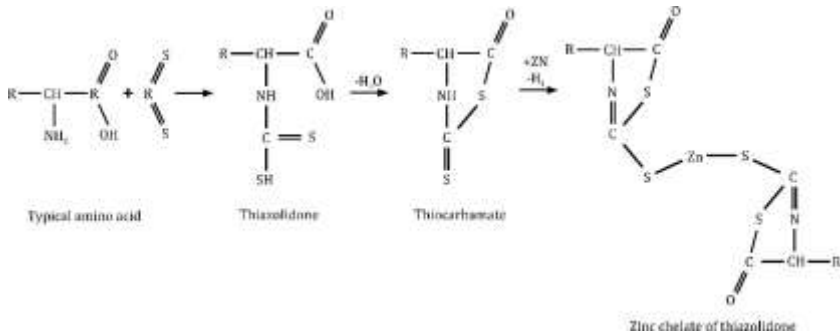
Di dalam cincin ini logam lebih kuat dicengkeram dari pada jika melekat pada molekul yang terpisah. Dalam membentuk cincin kelat stabil bebas regangan, harus ada setidaknya dua atom yang dapat menempel pada ion logam. Zat besi dalam molekul hemoglobin dan magnesium dalam molekul klorofil adalah dua contoh dari jenis ini. Melalui chelation, beberapa senyawa aktif biologis diserap dan dipertahankan dalam tubuh, sedangkan yang lain dapat dikeluarkan dari sistem kehidupan dengan lebih mudah.

Toksisitas bahan kimia berpotensi muncul dari chelation. Saat kelinci terpapar  $CS_2$  pada 250 ppm menyebabkan ekskresi Zn dalam urin. Hilangnya tubuh Zn terutama disebabkan oleh reaksi kimia  $CS_2$  dengan gugus amino bebas protein jaringan untuk membentuk tiokarbamat dan thiazolidone, yang dapat membentuk kelat larut dengan Zn (gambar 16.4). Thiazolidone yang ditunjukkan pada gambar 16.4 dapat membuat tembaga kurang tersedia untuk fungsi enzim esensial.



**Gambar 12.3 : Contoh Chelation**

Sumber: (Landis and Yu, 1999)



**Gambar 12.4 :** Reaksi CS<sub>2</sub> Dengan Protein Dan Asam Amino  
 Sumber: (Landis and Yu, 1999)

Chelation logam merupakan salah satu mekanisme dalam karsinogenesis. Banyak karsinogen memiliki struktur atau dapat dimetabolisme menjadi struktur yang mampu mengikat logam. Saat di dalam sel, interaksi antara logam normal dan logam abnormal dapat terjadi sehingga mengubah metabolisme sel. Agen anti kanker tertentu dapat berfungsi melalui pengikatan logam, yaitu, mereka dapat menonaktifkan logam abnormal lebih dari logam normal di dalam sel. Selain itu, ada banyak bahan kimia lingkungan beracun yang memiliki struktur kelat atau dapat menjadi demikian melalui proses metabolisme yang biasa.

### 12.3 Faktor-Faktor yang Memodifikasi Aktivitas Toksisitas

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi toksisitas polutan. Faktor utama pengaruh toksisitas polutan meliputi fisikokimia polutan, waktu paparan, faktor lingkungan, interaksi, faktor biologis, dan faktor gizi. Ragam parameter yang memodifikasi aksi toksik suatu senyawa di antaranya adalah:

#### 12.3.1 Sifat Fisikokimia Polutan

Toksisitas akhir polutan dipengaruhi karakteristik bentuk polutan, seperti: padat, cair, gas maupun yang terlarut dalam air atau dalam lipid, bahan organik atau anorganik dan yang terionisasi atau tidak berionisasi. Zat yang tidak terionisasi mengandung toksisitas lebih tinggi dari pada zat yang terionisasi. Hal tersebut disebabkan adanya membran zat yang tidak terionisasi dan dapat dilalui semua jenis zat dan meningkatkan kandungan toksisitas.

Faktor lain yang mempengaruhi toksisitas polutan adalah konsentrasi. Zat beracun tidak merugikan jika konsentrasinya rendah. Namun karbon monoksida bisa menjadi sangat berbahaya jika konsentrasinya di lingkungan sangat tinggi.

### **12.3.2 Waktu dan Cara Pemaparan**

Waktu pemaparan adalah penentu penting lain dari efek toksik. Polutan yang sama semakin lama waktu pemaparan semakin merugikan. Paparan terus menerus lebih berbahaya daripada paparan intermiten, dengan faktor-faktor lain yang sama. Cara paparan, yaitu, terus menerus atau terputus-putus, penting dalam mempengaruhi toksisitas polutan karena organisme hidup sering dapat memulihkan keseimbangan homeostatik selama fase "off" paparan intermiten daripada jika mereka terpapar pada tingkat racun yang sama secara terus menerus. Selain itu, organisme mungkin dapat mengembangkan toleransi setelah dosis intermiten.

### **12.3.3 Faktor Lingkungan**

Faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya juga mempengaruhi toksisitas polutan.

#### **1. Suhu**

Polusi suhu semakin memerlukan perhatian di banyak industri, terutama dengan pembangkit listrik. Pelepasan limbah dengan suhu yang lebih tinggi daripada badan air akan menimbulkan dampak merusak.

Perubahan suhu air mempengaruhi jumlah oksigen terlarut (DO). Jumlah DO yang ada pada saturasi air menurun dengan meningkatnya suhu. Banyak enzim memiliki kisaran suhu puncak. Di atas dan di bawah kisaran itu enzim menjadi tidak efisien dalam mengkatalisasi reaksi.

#### **2. Kelembaban**

Sensitivitas tanaman terhadap polutan udara meningkat seiring dengan meningkatnya kelembaban relatif. Namun, perbedaan kelembaban relatif mungkin harus lebih besar dari 20% sebelum perbedaan ditampilkan. Tanaman gladiol lebih sensitif terhadap fluoride karena kelembaban relatif meningkat dari 50 menjadi 80%.

### 3. Intensitas cahaya

Tingkat intensitas cahaya mempengaruhi respon tanaman secara sangat spesifik. Misalnya, intensitas cahaya selama pertumbuhan mempengaruhi sensitivitas kacang pinto dan tembakau terhadap paparan ozon. Tingkat sensitivitas meningkat dengan penurunan intensitas cahaya pada kisaran 900 hingga 4000 kaki-lilin (fc).

#### **12.3.4 Interaksi Polutan**

Jarang organisme hidup terpapar polutan tunggal. Sebaliknya, mereka terpapar kombinasi polutan secara bersamaan. Paparan kombinasi polutan dapat menyebabkan manifestasi efek yang berbeda dari yang diharapkan dari paparan setiap polutan secara terpisah. Efek gabungan dapat bersifat sinergis atau antagonis.

##### 1. Sinergi

Sinergi adalah peningkatan dampak toksisitas akibat paparan lebih dari satu polutan secara bersamaan. Dalam kasus sinergisme kedua senyawa memiliki toksisitas yang cukup besar ketika diberikan sendiri. Misalnya merokok dan paparan polusi udara mungkin memiliki efek sinergis yang mengakibatkan peningkatan insiden kanker paru-paru. Kehadiran materi partikulat seperti natrium klorida (NaCl) dan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan kabut asam sulfat secara bersamaan, akan memiliki efek berlipat.

##### 2. Antagonis

Antagonisme dapat didefinisikan sebagai situasi di mana toksisitas dua atau lebih senyawa yang ada atau diberikan bersama-sama atau secara berurutan. Antagonisme mungkin disebabkan oleh karakteristik kimia atau fisik xenobiotik atau dapat terjadi karena tindakan biologis dari bahan kimia yang terlibat.

### 12.3.5 Faktor Biologis yang Mempengaruhi Toksisitas

#### 1. Tanaman

Faktor dominan dan mempengaruhi respons tanaman terhadap polutan udara adalah variasi genetik. Variasi tersebut merupakan fungsi variabilitas genetik karena mempengaruhi karakteristik morfologis, fisiologis, dan biokimia tanaman.

#### 2. Makhluk hidup

Genetik, perkembangan, status kesehatan, variasi jenis kelamin, dan perilaku adalah beberapa faktor penting yang mempengaruhi respons hewan dan manusia terhadap toksisitas polutan (HODGSON, 1980).

##### a. Faktor genetic

Ragam spesies hewan menyebabkan beda respons terhadap dosis polutan. Faktor serum, sel darah merah, dan gangguan imunologis, serta malabsorpsi berkontribusi pada variasi respons terhadap stres lingkungan.

##### b. Faktor pertumbuhan

Kurangnya  $\gamma$ -globulin untuk mengatasi bakteri dan virus yang menyerang penurunan fungsi ginjal sebagai akibat dari penuaan kurangnya reseptor yang dibutuhkan dalam aksi hormonal tekanan yang lebih besar saat wanita dalam keadaan hamil untuk memetabolisme dan mendetoksifikasi bahan kimia asing.

##### c. Penyakit

Tingkat keparahan penyakit jantung, paru-paru, ginjal, dan hati meningkat setelah terpapar polutan. Seperti yang ditunjukkan sebelumnya organ-organ seperti ini bertanggung jawab untuk penyimpanan metabolisme, dan ekskresi polutan lingkungan. Penyakit pada salah satu organ ini akan menyebabkan gangguan fungsi dan penurunan kemampuan untuk mengatasi xenobiotik.

##### d. Gaya hidup

Kebiasaan merokok, minum, dan narkoba adalah beberapa contoh gaya hidup yang dapat mempengaruhi respons manusia terhadap polutan lingkungan. Hasil riset menunjukkan bahwa aktifitas merokok berkorelasi dengan tingkat polutan lingkungan. Seorang perokok dengan

demikian memiliki risiko lebih daripada nonsmoker saat terpapar stresor.

e. Jenis kelamin

Tingkat metabolisme senyawa asing bervariasi terkait jenis kelamin. Respons terhadap paparan kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ) pada tikus eksperimental menunjukkan variasi berdasar jenis kelamin. Tikus jantan sangat sensitif terhadap  $\text{CHCl}_3$ . Kematian sering terjadi setelah paparan mereka terhadap bahan kimia ini.

### **12.3.6 Faktor Gizi**

Nutrisi memiliki peran pada dampak toksisitas beberapa tahun terakhir. Hasil kajian epidemiolog menunjukkan hubungan antara nutrisi dan toksisitas polutan. Sebagai contoh, hewan percobaan yang diberi diet rendah protein lebih rentan terhadap toksisitas bahan kimia yang sedang diuji. Interaksi antara nutrisi dan polutan lingkungan sangat kompleks.

## **12.4 Risiko dan Dampak Toksisitas**

### **12.4.1 Polutan Gas Anorganik**

Pencemaran udara adalah kehadiran substansi fisik, kimia atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang membahayakan kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan. Beberapa gangguan fisik seperti polusi suara, panas, radiasi atau polusi cahaya dianggap sebagai polusi udara (Dewata and Tarmizi, 2015). Berikut jenis-jenis polutan gas organik dan efek yang dihasilkan pada tumbuhan, hewan dan manusia.

1. Sulfur oksida

Gas ini dapat bereaksi dengan oksigen, amoniak, dan senyawa lainnya, misalnya uap air, membentuk embun dan larutan asam sulfat serta senyawa sulfat lainnya. Oksida belerang dapat menyebabkan iritasi pada mata, tenggorokan dan saluran pernafasan lainnya. Selain itu, oksida belerang dapat menyebabkan terjadinya korosi pada logam dan bahan bangunan, merusak (mudah sobek) barang-barang yang terbuat dari kulit, kertas dan tekstil, serta memudahkan warna cat dan pewarna lainnya (Prodjosantoso and Tutik, 2011).

a. Efek pada tumbuhan



Mempengaruhi proses fotosintesis, transpirasi, dan respirasi yang menjadi tiga fungsi utama daun tanaman.

b. Efek pada hewan

Menyebabkan iritasi mata dan saluran pernapasan, tidak ada cedera besar akibat paparan konsentrasi gas ini.

c. Efek pada manusia

Mengubah mode pernapasan, seperti yang ditunjukkan oleh peningkatan frekuensi penurunan volume pasang surut, dan penurunan laju aliran pernapasan.

2. Nitrogen oksida

Nitrogen oksida meliputi nitrogen oksida (NO), dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Gas ini banyak dihasilkan oleh buangan industri bahan peledak, penyulingan minyak, dan industri semen (Prodjosantoso and Tutik, 2011). Pencemaran yang terus berlanjut merusak kesehatan lingkungan maupun manusia (Robotto *et al.*, 2022).

a. Efek pada tumbuhan

Gejala tanaman terpapar NO<sub>x</sub> mirip dengan yang berasal dari SO<sub>2</sub>, tetapi konsentrasi yang jauh lebih tinggi diperlukan untuk menyebabkan cedera akut.

b. Efek pada hewan dan manusia

Menghasilkan potongan-potongan fibrin di jalan napas, peningkatan jumlah makrofag, dan perubahan penampilan sel-sel di jalan napas distal dan alveoli paru-paru yang berdekatan.

3. Ozon

Ozon adalah konstituen alami dari atmosfer bagian atas; jumlah jejak secara alami ada di atmosfer yang lebih rendah. Berikut beberapa efek yang disebabkan oleh ozon pada tumbuhan, hewan dan manusia.

a. Efek pada tumbuhan

Hasil studi meliputi (1) peningkatan atau penurunan pertumbuhan tanaman; (2) pengurangan ukuran, berat, dan jumlah buah; (3) pengurangan pertumbuhan tunas dan akar; (4) pengurangan minyak biji; (5) pengurangan ukuran cincin pertumbuhan.

- b. Efek pada hewan dan manusia  
Menyebabkan iritasi pernapasan dan mata. Paparan  $O_3$  yang berlebihan berakibat sakit kepala, mual, dan peningkatan hambatan jalan napas.
- 4. Karbon monoksida  
Karbon monoksida tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak berasa yang sering ditemukan dalam konsentrasi tinggi di atmosfer perkotaan. Secara historis, paparan awal dimulai dari kebakaran dan kemudian dari batu bara untuk pemanasan domestik. Pembakaran yang terkait dengan industri, ledakan, kebakaran tambang, dan gas iluminasi batu bara.
- 5. Flourida  
Fluor memiliki satu isotop dan valensinya dalam semua senyawa alami adalah Fluorida. Berikut beberapa efek akibat fluorida pada tumbuhan, hewan dan manusia.
  - a. Efek pada tumbuhan  
Merusak ekosistem, organisme, jaringan atau organ, serta sel.
  - b. Efek pada hewan  
Melukai hewan peliharaan, menyebabkan efek akut atau kronis pada gangguan kesehatan gizi.
  - c. Efek pada manusia  
Menyebabkan masalah gigi berlubang, akumulasi berkepanjangan dengan kadar tinggi menyebabkan keracunan pada manusia.

#### **12.4.2 Logam Berat**

Logam berat seperti timbal (Pb), merkuri (Hg), kadmium (Cd), arsenik (As), kromium (Cr), seng (Zn), dan tembaga (Cu) mengakibatkan kerusakan yang memprihatinkan. Kasus keracunan yang sering terjadi akibat penggunaan logam sebagai pembasmi hama (pestisida), pemupukan atau karena pembuangan limbah pabrik yang menggunakan logam (Adhani and Husaini, 2017).

##### **1. Timbal**

Saat ini timbal banyak digunakan dalam industri cat dan bahan bakar (Lebrón *et al.*, 2019). Berikut efek yang dihasilkan timbal pada tumbuhan, hewan dan manusia.

- a. Efek pada tumbuhan

Kadar Pb yang tinggi pada udara dan tanah berakibat terganggunya perkecambahan biji.

b. Efek pada hewan

Variasi dampak tergantung pada spesies ikan, sedangkan efek pada burung dapat merusak organ pencernaan, kelaparan dan kematian.

c. Efek pada manusia

Menyebabkan mual, anoreksia, perut parah kram, penurunan berat badan, anemia, disfungsi tubulus ginjal, nyeri otot, dan sendi sakit. Timbal dapat melewati sawar plasenta dan dapat mencapai janin, mengakibatkan keguguran, aborsi, dan lahir mati.

2. Kadmium

Pengaruh Kadmium pada manusia dalam jangka waktu panjang adalah adanya akumulasi pada hati dan ginjal. Berikut efek yang dihasilkan kadmium pada tumbuhan, hewan dan manusia.

a. Efek pada tumbuhan

Menghambat perkecambahan biji dengan indikasi penurunan perpanjangan dan pengembangan akar.

b. Efek pada hewan dan manusia

Cd yang terhirup oleh hewan dan manusia dapat menyebabkan emfisema dan pneumonitis, sementara Cd yang tertelan dapat mengakibatkan gangguan saluran cerna, muntah, proteinuria, osteomalacia, disfungsi hati, kerusakan ginjal (anemia), dan hipertensi.

3. Merkuri

Mineral dengan kandungan merkuri adalah sinabar, metasinabarit, kalomel, terlinguait, eglestonit, montroidit, dan merkuri murni. (Mahmudiono *et al.*, 2021) Merkuri dapat dengan mudah masuk ke dalam tubuh ikan melalui rantai makanan, difusi permukaan kulit dan melalui insang. Berikut efek merkuri pada tumbuhan, hewan dan manusia.

a. Efek pada tumbuhan

Berdampak kerusakan berbagai spesies. Pb dan Cd, Hg menghambat perkecambahan.

b. Efek pada hewan

Menyebabkan kerusakan ginjal, hati dan otot tisu pada burung.

c. Efek pada manusia

Menyebabkan keracunan, kehilangan nafsu makan, anemia, radang gusi, gangguan jaringan, gangguan nutrisi, dan kerusakan ginjal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R. and Husaini. 2017. *LOGAM BERAT SEKITAR MANUSIA*.
- Black, V. J. and Unsworth, M. H. 1980. 'Stomatal responses to sulphur dioxide and vapour pressure deficit', *Journal of Experimental Botany*, 31(2), pp. 667–677. doi: 10.1093/jxb/31.2.667.
- Dewata, I. and Tarmizi. 2015. *Kimia Lingkungan*.
- Friberg, L. *et al.* 1974. 'Cadmium in the environment [ by ] Lars Friberg [ and others ], with technical and editorial assistance from Pamela Boston', (0), p. 0.
- Grimes, H. D., Perkins, K. K. and Boss, W. F. 1983. 'Ozone degrades into hydroxyl radical under physiological conditions. A spin trapping study', *Plant Physiology*, 72(4), pp. 1016–1020. doi: 10.1104/pp.72.4.1016.
- Hamuna, B. and Wanimbo, E. 2021. 'Heavy Metal Contamination in Sediments and Its Potential Ecological Risks in Youtefa Bay, Papua Province, Indonesia', 22(8), pp. 209–222.
- Heath, R. L. 1980. 'Initial Events in Injury to Plants by Air Pollutants', *Annual Review of Plant Physiology*, 31(1), pp. 395–431. doi: 10.1146/annurev.pp.31.060180.002143.
- HODGSON, E. 1980. 'Introduction to Biochemical Toxicology Extrahepatic Metabolism of Drugs and other Foreign Compounds'.
- Irianti, T. T. *et al.* 2017. *Toksikologi Lingkungan*.
- Landis, W. G. and Yu, M.-H. 1999. *Inroduction to ENVIRONMETAL TOXICOLOGY Impacts of Chemicals Upon Ecological Systems, Analysis*.
- Lebrón, A. M. W. *et al.* 2019. 'The state of public health lead policies: Implications for urban health inequities and recommendations for health equity', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), pp. 1–28. doi: 10.3390/ijerph16061064.
- Mahmudiono, T. *et al.* 2021. 'Education on mercury exposure from fish and its product in elementary students in kenjeran beach area, surabaya: A study protocol', *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 9, pp. 1166–1168. doi: 10.3889/oamjms.2021.7329.

- Mueller, P. K. and Hitchcock, M. 1969. 'Air quality criteria — toxicological appraisal for oxidants, nitrogen oxides, and hydrocarbons', *Journal of the Air Pollution Control Association*, 19(9), pp. 677–678. doi: 10.1080/00022470.1969.10466542.
- Prodjosantoso and Tutik, R. 2011. *Kimia Lingkungan, Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan*.
- Robotto, A. *et al.* 2022. 'Improving Air Quality Standards in Europe: Comparative Analysis of Regional Differences, with a Focus on Northern Italy', *Atmosphere*, 13(5), p. 20. doi: 10.3390/atmos13050642.



# BAB 13

## PENILAIAN PAPARAN

*Oleh Ana Hardiana*

### 13.1 Pendahuluan

Penilaian paparan (*exposure assement*) merupakan tahapan penilaian risiko lingkungan (*environmental risk assessment*). Validitas kuantitatif dan penilaian risiko berdasarkan penilaian paparan dan penilaian toksisitas (Yulianto & Amaloyah, 2017).

Penilaian paparan paling baik dievaluasi berdasarkan beberapa aspek paparan, termasuk asosiasi dan perhitungan konsentrasi zat di lingkungan, dan rute paparan. Salah satu model *retrospective exposure assement* adalah model sederhana: asumsi bahwa paparan berhubungan langsung dengan konsentrasi di tempat lokal. Salah satu contohnya adalah perhitungan konsentrasi untuk pemantauan udara perkotaan dalam kaitannya dengan paparan inhalasi penduduk perkotaan.

Tingkat paparan lingkungan dan manusia dari suatu agent adalah interaksi antara agent dan tubuh manusia (melalui kulit, *traktus respiratorius*, *traktus gastro intestinalis*). Dosis tergantung pada volume yang dihirup/ ditelan, lokasi pengambilan polutan, kecepatan translokasi, dan polutan serta paparan akut atau kronis. Dengan demikian, hal penting dalam penilaian paparan pada manusia adalah metode, penghitungan, dan model.

Pada awal 1980-an, salah satu aspek terpenting dari kebijakan lingkungan adalah peran penilaian risiko dan manajemen risiko dalam pengambilan keputusan di lingkungan. Di Indonesia, hal ini sudah ada sejak 1982 ketika Undang-undang Nomor 4 Tahun 1982 tentang ketentuan-ketentuan pokok pengelolaan lingkungan hidup. Undang-undang ini telah diperbaharui dengan Undang-undang Nomor 23 Tahun 2007.

Dasar-dasar penilaian risiko merupakan dasar untuk meningkatkan studi kelayakan penilaian kesehatan manusia.



Berdasarkan *Risk Assesment Guidance for Superfund* Volume I (EPA). Dasar-dasar penilaian risiko, mencakup unsur-unsur berikut ini:

1. Koleksi data dan evaluasi (*data collection and evaluation*)
2. Penilaian paparan (*exposure assessment*)
3. Penilaian toksisitas (*toxicity assesment*)
4. Karakteristik dari risiko (*risk characterization*)

## 13.2 Penilaian Paparan

Penilaian paparan mencakup metode untuk memperkirakan kemungkinan kontaminan, frekuensi penyimpangan, dan paparan manusia di tempat kerja. Pada penilaian paparan, yang paling penting adalah mengestimasi paparan maksimum di lingkungan dari penggunaan lahan di masa depan sehingga pengambil keputusan tahu bagaimana memperkirakan dan mengelolanya (Yulianto & Amaloyah, 2017).

Proses analisis paparan mencakup aturan untuk jenis paparan (*characteristic exposure setting*), identifikasi jalur paparan (*identity exposure setting*), jumlah paparan (*quantify exposure*), penilaian toksisitas (*toxicity assesment*). Penilaian toksisitas dilakukan dengan mengajukan informasi toksisitas kualitatif dan kuantitatif, dan menentukan nilai toksisitas.

Secara ringkas, tahapan penilaian toksisitas sebagai berikut:

1. Pengumpulan informasi toksisitas secara kualitatif dan kuantitatif untuk bahan evaluasi.
2. Identifikasi durasi paparan untuk menilai toksisitas
3. Perhitungan nilai toksisitas untuk efek non-karsinogenik
4. Perhitungan nilai toksisitas untuk efek karsinogenik
5. Ringkasan informasi toksisitas

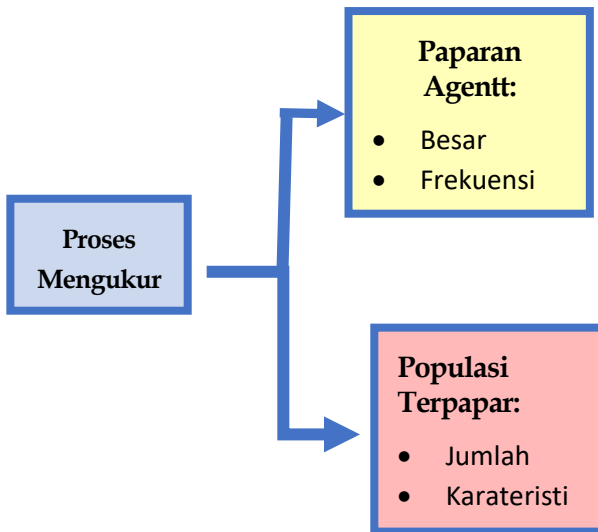
Karakteristik risiko adalah ringkasan atau hasil dari penilaian paparan dan toksisitas yang bersifat kualitatif dan kuantitatif pada suatu karakteristik dasar dari risiko lingkungan. Pada proses penentuan karakteristik risiko, maka informasi toksisitas bahan kimia spesifik dibandingkan dalam hal ukuran tingkat paparan dan tingkat produksi dari model proses perjalanan dan transportasi kontaminan.

Karakteristik risiko merupakan kumpulan dari beberapa kegiatan berikut ini:

1. Tinjauan kembali hasil akhir pengeluaran dan toksisitas analisis paparan.
2. Mengukur risiko dari bahan kimia tertentu.
3. Mengukur risiko dari bahan kimia gabungan.
4. Perbandingan risiko selama paparan.
5. Mengidentifikasi dan mempresentasikan ketidakpastian.
6. Pertimbangkan lokasi spesifik dari studi pada manusia.

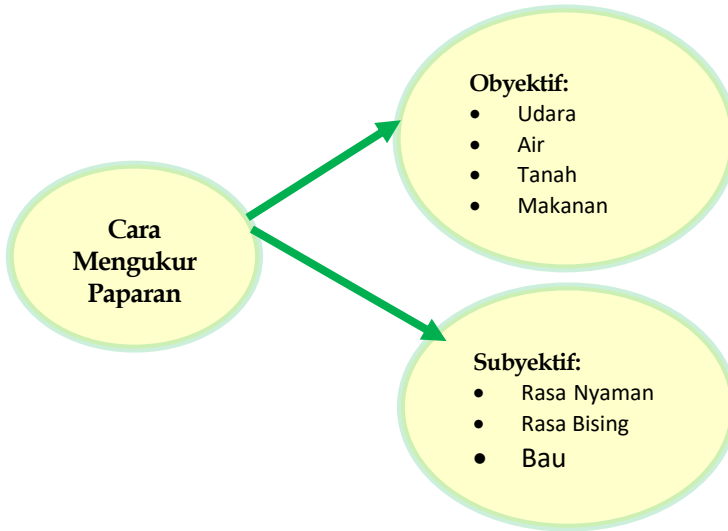
### 13.3 Dasar Pengukuran Paparan

Penilaian paparan diukur berdasarkan waktu, tempat, dan dosis (konsentrasi). Waktu paparan adalah durasi setiap kali paparan terjadi, frekuensi paparan, dan interval waktu antara setiap paparan. Tempat paparan adalah lokasi geografis dan lokasi pada tubuh. Dosis adalah jumlah agent atau agent potensial yang masuk ke dalam tubuh. Konsentrasi adalah kualitas agent atau agent potensial dalam suatu media atau lingkungan (Hastomo, 2009).



**Gambar 13.1** : Proses Mengukur Paparan

Sumber: (Inoy, 2014)



**Gambar 13.2 :** Cara Mengukur Paparan  
 Sumber: (Inoy, 2014)

### 13.4 Jenis Paparan

Jenis paparan dilihat dari sifat agentt terdiri dari agentt sistemik dan agentt lokal. Agent sistemik adalah agent yang apabila berhasil memasuki tubuh suatu organisme, dapat beredar dan menimbulkan efek ke seluruh tubuh. Paparan dari agent sistemik dapat dibagi menjadi paparan eksternal (murni dinyatakan dalam konsentrasi media, hanya yang memasuki tubuh) dan paparan internal (hanya yang diabsorpsi tubuh, terjadi pada organ target). Sementara agent lokal adalah agent yang hanya bekerja secara lokal pada organisme di bagian/organ tertentu (bagian tubuh yang terpapar). Jenis paparan bisa dilihat dari sifat pemapar yaitu zat kimiawi, zat fisis, zat biologis, sosial dan campuran.

### 13.5 Pengukuran Paparan

Pengukuran paparan berdasarkan sifat data meliputi pengukuran kuantitatif dan pengukuran kualitatif. Pengukuran kuantitatif adalah sistem pengukuran observasi atau pemantauan secara kontinyu yang mempunyai tujuan tertentu dan menggunakan

peralatan laboratorium/ instrumen yang mempunyai prosedur dan ketelitian tertentu.

Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam melakukan pengukuran kuantitatif meliputi tempat pengambilan sampel, jumlah sampel, waktu pengambilan sampel, ketelitian yang dikehendaki, serta metode dan prosedur yang digunakan. Pengukuran kualitatif menggunakan kuesioner dan wawancara mendalam untuk mengumpulkan data. Sebagai contoh pengukuran kualitatif dalam penelitian epidemiologi retrospektif, ketika suatu penyakit telah terjadi dan ingin mengetahui agent di masa lalu sebelum menderita penyakit (Inoy, 2014)

Cara mengukur/ menentukan populasi terpapar dan tidak terpapar bisa dilakukan melalui 2 cara yaitu cara tidak langsung dan cara langsung. Cara tidak langsung bisa diukur dari kualitas lingkungan, sedangkan cara langsung dilakukan dengan mengukur jumlah agent yang masuk ke dalam tubuh.

Beberapa hal yang perlu diketahui tentang pengukuran tidak langsung, yaitu:

1. Indikator ini digunakan secara tradisional untuk menentukan terpapar tidaknya populasi.
2. Pengukuran paparan tidak langsung menggunakan indikator paparan, misalnya indikator mikrobiologi dalam air adalah Coliform, E Coli dibandingkan dengan standar kualitas air, dan dapat menentukan populasi yang terpapar dan tidak terpapar.
3. Tidak semua zat dalam lingkungan konsentrasinya dapat memasuki tubuh populasi. Kondisi sakit tidak saja ditentukan oleh konsentrasi zat pemapar, namun juga kondisi masyarakatnya.
4. Indikator digunakan untuk menilai kualitas lingkungan dengan cepat, misalnya dengan cara menghitung berbagai indeks.
5. Tidak terlalu akurat, tetapi mudah dilakukan.
6. Hasil sangat umum dan tidak mencerminkan paparan individual.

Untuk pengukuran paparan secara langsung, hal yang perlu diperhatikan meliputi:

1. Pengukuran dan analisis secara individual.

2. Hasil pengukuran memberikan informasi yang tepat, berkaitan dengan jumlah agent dari lingkungan yang masuk ke tubuh.
3. Pengukuran disesuaikan dengan cara agent masuk ke dalam tubuh (*portal of entry*).
4. Parameter paparan yang dapat digunakan misalnya *Biological Exposure Indicators* (BEI), yaitu cairan/ material biologis seperti darah, urin, feses, kuku, dan rambut.

Paparan lingkungan biologis terdiri dari flora dan fauna. Paparan terhadap lingkungan biologis tergantung pada sikap masyarakat itu sendiri, yang berkaitan dengan pengelolaannya. Pengukuran tetap sama untuk berbagai variabel yang diteliti, yaitu vektor, makanan, insektisida dan lain-lain.

Paparan lingkungan sosial dinilai dengan menggunakan indikator kesejahteraan masyarakat seperti usia harapan hidup, tingkat pendidikan, jenis pekerjaan, tingkat buta huruf, dan tingkat sosial ekonomi.

Pengukuran lingkungan subyektif merupakan pengukuran yang dilakukan dengan metode panel. Untuk itu kualitas anggota panel harus dipilih dengan tepat. Contohnya pengukuran rasa, bau, dan keindahan/ estetika

Pengukuran paparan lingkungan air dan makanan perlu memperhatikan kebiasaan perseorangan. Penilaian paparan dari minuman dan makanan dapat dilakukan dengan 2 pendekatan yaitu pendekatan tidak langsung (metode komposit) dan pendekatan langsung (teknik porsi duplikat). Metode komposit meliputi:

1. Makanan diperiksa dan dihitung didasarkan atas jenis makanan serta jumlahnya yang dikonsumsi masyarakat
2. Makanan dimasak
3. Makanan dianalisis pencemar yang ada
4. Dihitung intake harian rata-rata
5. Untuk pencemar yang terdistribusi secara luas seperti Cd dalam beras, Hg dalam ikan.

Teknik duplikat meliputi:

1. Metode hanya bisa diterapkan pada populasi yang tidak terlalu banyak.

2. Makanan yang dimakan orang dibuat dalam duplikat
3. Salah satu makanan diperiksa di laboratorium
4. Baik digunakan untuk mengetahui:
  - a. Ada kelompok kritis yang terdefinisi dengan baik
  - b. Ada kelompok terpapar secara unik, karena tempat tinggal atau makanannya.

### **13.6 Paparan Lingkungan**

Paparan lingkungan udara meliputi:

- Pengukuran zat yang memberi efek iritasi, dilakukan secara kontinyu *Sulfur Dioksida* (SD2)
- Pengukuran zat yang bersifat narkotik dilakukan secara kontinyu, *Carbon Dioksida* (CO2)
- Agent sistemik termasuk teratogen, agent yang toksik merusak hati, ginjal, dilakukan mengacu pada waktu luruh biologis (*biological half life*)
- Karsinogen karena memiliki masa inkubasi yang lama, dilakukan secara retrospektif dan bersifat kualitatif.

Paparan Lingkungan Tanah sebagai berikut:

- Tataguna lahan menentukan kualitas lingkungan dan paparan masyarakat setempat.
- Lahan pertanian memiliki paparan berupa insektisida dan pupuk.
- Lahan industri memiliki paparan berupa buangan industri (padat, cair, gas).
- Lahan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) memiliki paparan berupa gas metan, lindi, vektor dll.
- Daerah pemukiman dan rumah sakit, memiliki paparan berupa limbah domestik, dan buangan rumah sakit.
- Pengukuran gas, cairan, dan padatan menggunakan metode standar bagi lingkungan udara, air dan padatan.
- Pengukuran insekta dapat dilakukan dengan metode *indeks vector*.
- Kualitas pemukiman dapat dinilai dari kualitas bangunannya, serta sekaligus dapat menilai kesehatan penghuninya.

Peningkatan polusi lingkungan dapat menyebabkan toksisitas merkuri yang berasal dari ikan karena sifat akumulatif metilmerkuri pada ikan. Sumber utama paparan manusia terhadap senyawa merkuri organik adalah ikan yang dijinakkan dan makanan laut lainnya. Studi deskriptif tersebut direncanakan untuk menentukan kadar merkuri dalam ikan teri melalui sampel rambut dari individu dengan kebiasaan konsumsi ikan yang berbeda. Hal ini untuk mengevaluasi individu-individu tersebut dalam hal efek toksik (Çamur *et al.*, 2014)

Pengukuran tingkat ekspresi MXR dapat digunakan sebagai biomarker paparan. Banyak kelas bahan kimia yang mampu menghambat mekanisme MXR. Kelas senyawa baru ini, yang disebut sebagai "kemosensitizer," dianggap layak mendapatkan peringkat teratas di antara bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan, karena dapat memblokir mekanisme pertahanan biologis dasar dan mengembalikan ketahanan alami terhadap sensitivitas patobiologis. Oleh sebab itu deteksi dan pengendalian inhibitor MXR sudah seharusnya mendapatkan prioritas tertinggi dalam studi penilaian risiko ekologis. Metode untuk mengukur konsentrasi kemosensitizer MXR tersebut dalam sampel lingkungan, atau untuk pengukuran sifat penghambat MXR dari bahan kimia yang tersedia (Kurelec, 1997).

Hasil dari jenis studi induksi gen dapat digunakan untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan mode aksi, hubungan dosis-respons, interaksi kimia, dan penilaian paparan manusia. Namun, yang sangat penting untuk diperhatikan bahwa dalam kaskade peristiwa yang terjadi dalam sistem biologis, perubahan ekspresi gen yang diinduksi secara kimiawi harus menyebabkan perubahan kualitatif atau kuantitatif dalam komplemen protein total, proteom, sel dan jaringan. Perubahan proteom tersebut kemungkinan akan mengganggu homeostasis dari suatu organisme. Dalam membangun hubungan antara genomik dan proteomik dinilai sangat penting, yang berkaitan penggunaannya dalam toksikologi dan penilaian risiko bahan kimia dan campurannya (Mumtaz *et al.*, 2002).

Mekanisme fisiologis kritis yang menjelaskan kelebihan beban hasil kelahiran yang merugikan terkait dengan polutan tertentu yang diamati diantara populasi ses rendah SES dan beberapa komunitas kulit berwarna. Sistem kekebalan ibu yang dibentuk oleh stresor kronis sebelum pembuahan dan selama pregnancy dapat meningkatkan

kerentanan tertentu terhadap hasil kehamilan yang dinilai merugikan. Hal ini dapat diperparah oleh kesenjangan berbasis ras dan kelas dalam paparan bahaya lingkungan yang didorong oleh distribusi, kekuasaan, hak istimewa, dan sumber daya ekonomi.

Kesenjangan kesehatan lingkungan ini kemungkinan akan dimoderasi oleh tingkat dan besarnya komunitas kronis dan stresor tingkat individu yang dapat tercermin dalam beban alostatik individu. Oleh karena itu, pendekatan holistik untuk penelitian KIA di masa depan yang berusaha untuk mengurai bahaya ganda dari stresor kronis dan paparan bahaya lingkungan dapat membantu menjelaskan interaksi faktor-faktor tingkat individu dan masyarakat dalam membentuk kesenjangan rasial dan ekonomi yang terus-menerus dari hasil kelahiran. Terutama bagi para peneliti dan praktisi yang peduli tentang keadilan lingkungan, arah penelitian tersebut dapat memberikan strategi baru untuk mengurangi pendorong sistemik pada kesenjangan rasial dan sosial ekonomi dari hasil kelahiran (Morello-Frosch & Shenassa, 2006).

Pengembangan prosedur dan model penilaian risiko yang akurat merupakan pekerjaan yang kompleks seperti data yang sering terhambat yang disebabkan oleh kurangnya data. Untuk mempromosikan pengembangan model dan metode yang berdasarkan pada penelitian eksperimental, diperlukan suatu program yang dapat untuk memastikan koordinasi memadai antara pembuatan data yang sesuai dan penggunaan data (Mumtaz et al., 2002).

Penilaian risiko ekologis adalah mengevaluasi efek ekologis yang disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti pengeringan lahan basah atau pelepasan bahan kimia. Istilah "stresor" yang digunakan disini untuk menggambarkan entitas kimia, fisik, atau biologis apapun yang dapat menyebabkan efek buruk pada individu, populasi, komunitas, atau ekosistem. Dengan demikian, proses penilaian risiko ekologis harus fleksibel dalam menyediakan struktur logis dan ilmiah untuk mengakomodasi beragam stresor (Landis & Yu, 2003)

Kesimpulan risiko ekologis menguraikan hasil estimasi risiko dan ketidakpastian. Aspek penting pada tahap ini adalah pengambilan keputusan mengenai keakuratan estimasi risiko (Landis & Yu, 2003). Keputusan ini berkaitan dengan tiga aspek umum dari analisis:

- Kecukupan data



- Informasi yang menguatkan
- Bukti kausalitas

Kecukupan data berkaitan dengan kualitas data dan kelengkapannya. Sebagian besar diskusi berkisar pada kualitas dan kesesuaian penelitian yang dilakukan atau diambil dari hasil penilaian risiko.

Informasi yang menguatkan adalah data yang berasal dari studi serupa dengan stresor serupa yang cenderung mendukung kesimpulan dari penilaian risiko. Pengetahuan secara inheren konservatif, dan kesamaan dalam data dan kesimpulan dari studi terkait meningkatkan kredibilitas penilaian risiko saat ini. Namun, kesamaan dengan kesimpulan sebelumnya atau teori ekologi tidak berarti bahwa penelitian saat ini cacat, tetapi kemungkinan disebabkan karya sebelumnya tidak sama dengan yang diperkirakan semula atau paradigma yang digunakan secara keseluruhan tidak tepat.

Bukti kausalitas mungkin merupakan aspek yang paling konkret dan juga paling sulit dipahami dari proses penilaian data. Pada tingkat organisme atau spesies tunggal, seringkali dimungkinkan untuk menetapkan koneksi mekanistik tertentu untuk kematian atau dampak lainnya. Sayangnya, tidak dapat dipahami dengan jelas betapa lazimnya dampak ini di tingkat masyarakat.

Data korelasional merupakan semua yang tersedia untuk dampak pada tingkat interaksi antar spesies. Korelasi sulit untuk dinilai, karena korelasi tidak menunjukkan sebab dan akibat. Dalam sistem yang serumit ekosistem, beberapa korelasi yang disebabkan faktor kebetulan dapat terjadi. Ada kemungkinan juga sangat sulit untuk memisahkan sebab dan akibat tanpa kriteria yang jelas, ataupun sudah ditetapkan dengan kuat.

Aspek yang paling penting adalah kesadaran bahwa diperlukan data tambahan atau bahkan reformulasi model konseptual. Dalam hal ini proses penilaian dialihkan ke tahap akuisisi, verifikasi, dan pemantauan data. Kemudian proses berulang bisa terjadi untuk mendapatkan penilaian risiko yang dapat digunakan dan diharapkan akurat.

## 13.7 Kesimpulan

Untuk dapat menentukan karakteristik suatu risiko kesehatan lingkungan memang sangat sulit. Hal ini disebabkan untuk mengetahui karakteristik risiko, harus lebih dahulu dilakukan suatu penilaian risiko.

Penilaian risiko adalah pengukuran risiko terhadap kesehatan manusia berdasarkan koleksi data dan evaluasi (*data collection and evaluation*), penilaian paparan (*exposure assessment*), penilaian toksisitas (*toxicity assement*), karakteristik dari risiko (*risk characterization*) guna melakukan pencarian perbaikan dari studi kelayakan yang digunakan untuk mengevaluasi kesehatan manusia.

Pentingnya penilaian risiko lingkungan berhubungan dengan paparan bahan toksik pada manusia, yaitu semakin tinggi tingkat risiko pada lingkungan, juga akan mengakibatkan tingginya risiko paparan bahan kimia/toksik pada manusia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Çamur, D., Güler, Ç., Vaizoğlu, S. A., & Özdilek, B. 2014. Determining mercury levels in anchovy and in individuals with different fish consumption habits, together with their neurological effects. *Toxicology and Industrial Health*, 32(7), 1215–1223. <https://doi.org/10.1177/0748233714555393>
- Hastomo. 2009. *Agentt Paparan dalam Epidemiologi lingkungan*. Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Politeknik Kesehatan Yogyakarta, Jurusan Kesehatan Lingkungan
- Inoy, T. 2014. *Pengukuran Paparan (Exposure Assessment)*.
- Kurelec, B. 1997. A new type of hazardous chemical: The chemosensitizers of multixenobiotic resistance. *Environmental Health Perspectives*, 105(SUPPL. 4), 855–860. <https://doi.org/10.1289/ehp.97105s4855>
- Landis, W., & Yu, M.-H. 2003. Environmental Toxicology, Impact of Chemicals Upon Ecological Systems. In *Lewis Publishers: Vol.* (Third Edit, Issue). Lewis Publishers.
- Morello-Frosch, R., & Shenassa, E. D. 2006. The environmental “Riskscape” and sosial inequality: Implications for explaining maternal and child health disparities. *Environmental Health Perspectives*, 114(8), 1150–1153. <https://doi.org/10.1289/ehp.8930>
- Mumtaz, M. M., Tully, D. B., El-Masri, H. A., & De Rosa, C. T. 2002. Gene induction studies and toxicity of chemical mixtures. *Environmental Health Perspectives*, 110(SUPPL. 6), 947–956. <https://doi.org/10.1289/ehp.02110s6947>
- Yulianto, & Amaloyah, N. 2017. Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan Toksikologi Lingkungan. In *Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan, Badan Pengembangan dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan* (Tahun 2017). Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

# **BAB 14**

## **PENILAIAN RESIKO TOKSIKAN PADA LINGKUNGAN**

*Oleh Marlia Mamede*

### **14.1 Pendahuluan**

Manusia sebagai makhluk hidup tertinggi di dunia ini hidupnya tergantung pada sumber daya alam yang ada di sekitarnya. Sebagai kebutuhan dasar, misalnya memerlukan udara setiap saat, air untuk minum, mandi mencuci dan lain – lain. Manusia juga memerlukan makanan yang terdiri dari flora dan fauna, juga tempat tinggal yang di mulai di pohon, gua dan sekarang berbentuk rumah dan pemukiman. Selama hidupnya pula manusia perlu membuang kotoran yang tidak di perlukannya kembali ke lingkungan. Limbah udara kembali ke udara, limbah cair kembali ke air/ hidrosfir, juga limbah padat kembali ke tanah/litosfir. Manusia merupakan sebagian dari alam dan berinteraksi dengan alam sepanjang hayatnya. Sewaktu manusia masih sedikit alam masih mampu membersihkan dirinya dari segala buangan/kotoran dengan mekanisme yang berada di alam (ekosistem) yang di kenal sebagai Self Purification Proses melalui siklus Hidrobiogeokimianya (Juli Semerat.2017)

Bertambahnya jumlah penduduk mengakibatkan bertambahnya kerusakan alam, dimana jumlah penduduk membutuhkan suplai bahan dan jasa yang semakin meningkat. Peningkatan jumlah penduduk berakibat meningkatnya pula keanekaragaman buangan baik buangan industry atau pabrik – pabrik yang membuat konsentrasi buangan semakin tinggi sehingga mengakibatkan potensi meningkatnya penularan penyakit dan wabah ataupun keracunan.

Pada akhirnya buangan bertambah banyak dan seringkali tidak bersifat alamiah, membuat lingkungan tidak mampu membersihkan dirinya, atau proses pembersihannya dirinya telah terlampaui dan memerlukan bantuan manusia agar semua buangan tidak mengotori dan merusak lingkungan dan sumber daya alam.

Sumber daya alam dan lingkungan dibutuhkan manusia untuk tetap terjaga kualitasnya. Misalnya “Udara” yang dibutuhkan setiap saat harus tetap dijaga kebersihannya. Manusia yang menghirupnya berakibat menderita penyakit bawaan udara. Kondisi dimana sumber daya alam sudah tidak lagi dapat digunakan tanpa menimbulkan kerugian pada manusia di sebut kondisi yang tercemar. Kerugian tadi dapat berupa penyakit, kerusakan alam, kerusakan harta benda dan sebagainya.

Pada gambar 14.1 dapat di simak bahwa pengelolaan kualitas lingkungan sangat di perlukan agar semua kegiatan dan aktifitas manusia dapat berjalan sesuai dengan kesejahteraanya. Berbagai ahli di perlukan untuk secara bersama mengelola lingkungan, bahkan seluruh masyarakat perlu ikut serta dalam pengelolaannya. Secara khusus, para ahli lingkungan dan teknis lingkungan mempunyai peran yang sangat besar dalam pengelolaan lingkungan.

Dapat diketahui buangan yang saat ini dan masa depan selanjutnya dapat berupa zat beracun yang berbahaya yang memasuki lingkungan dan jumlahnya semakin bertambah dan semakin bermacam – macam jenisnya.



**Gambar 14.1 :** Dampak Pembangunan Terhadap Kesejahteraan

Pada zaman modern saat ini muncul perhatian masyarakat atas dampak negati dari bahan kimia, radiasi dan teknologi secara umum pada kesehatan dan lingkungan. Pristiwa atau permasalahan hujan asam dan dampak dari bahan berbahaya beracun memperkuat perhatian masyarakat terhadap unsur toksik dan unsur lingkungan.

Sebagai bidang ilmu, toksikologi terus berkembang tidak hanya berfokus pada pengetahuan dan penggunaan berbagai bahan-bahan racun (Klaassen, 2008 dalam FKM.Universitas Indonesia)

Secara umum toksikologi berarti '*study of the adverse effects of agents on living organism*' atau 'studi efek buruk (merugikan) dari toksikan pada organisme hidup'. Dalam makna toksikologi itu terdapat empat konsep berikut:

1. *Study*, meliputi aspek uji coba, koleksi data, dan evaluasi
2. *Effects*, berupa efek yang tidak diinginkan baik efek yang nyata maupun yang samar
3. *Agents*, berasal dari kimia sintetis ataupun alam
4. *Living Organism*, dapat berupa manusia, flora, dan fauna

Toksikologi juga merupakan ilmu yang cukup pesat perkembangannya hingga melahirkan beberapa cabang ilmu toksikologi berdasarkan ilmu dan aplikasinya. Toksikologi mencakup multidisiplin sebagaimana ilmu kedokteran yang meliputi bidang-bidang terkait. Dasar toksikologi adalah biologi, kimia, farmakologi, fisiologi, imunologi, dan patologi. Toksikologi berperan dalam berbagai bidang kehidupan, antara lain dalam industri makanan, yaitu penggunaan zat aditif makanan; dalam dunia pertanian, yaitu penggunaan pestisida; dan dalam industri kimia, yaitu berkaitan dengan pelarut dan komponen lain dalam proses produksi suatu bahan kimia. Toksikologi digunakan untuk mengkaji perilaku bahan kimia dan dampak negatif yang ditimbulkannya, baik terhadap manusia maupun lingkungan (Mely dkk. 2021)

## **14.2 Defenisi Racun dan Keracunan**

Racun adalah sesuatu yang berpindah ke dalam tubuh manusia menyebabkan keadaan tidak sehat yang dapat membahayakan jiwa manusia atau setiap bahan/zat yang dalam jumlah tertentu bila masuk ke dalam tubuh dapat menimbulkan reaksi kimia yang menyebabkan

penyakit hingga kematian. Sedangkan keracunan adalah keadaan darurat yang diakibatkan masuknya suatu zat atau makanan ke dalam tubuh melalui berbagai jalan seperti melalui saluran pernafasan atau melalui kulit.

Keracunan yang tidak disengaja disebabkan kesalahan ketika orang makan atau minum. Kemungkinan makanan atau minuman tersebut mengandung zat kimia yang berbahaya bagi tubuh atau makan dan minuman tersebut kadaluarsa yang dapat mengandung jamur atau bakteri.

Keracunan dapat disebabkan oleh gas beracun yang dapat menimbulkan gangguan pernafasan. Selain itu gas beracun juga bisa menimbulkan pusing dan mual. Dari definisi racun dan keracunan tersebut bila mengalaminya harus segera ditangani dengan tepat. Keracunan yang tidak segera ditangani dapat menimbulkan kematian berakibat kesadaran manusia menurun demikian pula dengan daya tahan tubuh menurun. Racun dan keracunan dapat dicegah dan diatasi dengan tepat, sehingga bahaya yang ditimbulkan dapat segera dicegah. Salah satu pencegahannya adalah dengan mengurangi konsumsi obat – obatan dan konsumsi makan sehat (Berto Saksono. 2014)

Beberapa contoh zat racun antara lain; insektisida (pembasmi serangga), sianida (sering ditemui pada singkong beracun), logam berat (asaphitam pada kendaraan bermotor), bisa binatang (bisa ular, kalajengking, dsb) ataupun bahan kimia yang bersifat korosif (dapat menyebabkan luka bakar pada bagian tubuh jika masuk ke dalam tubuh).

Sayuran dan buah-buahan biasanya telah dicemari oleh zat kimia, baik sebagai pengawet maupun racun pembasmi serangga (sering digunakan petani sebelum dipanen). Zat-zat kimia ini bisa berupa arsen, timah hitam, atau zat-zat yang bisa menyebabkan keracunan. Selain itu, makanan seperti acar, jus buah, atau asinan yang disimpan di dalam tempat yang dilapisi timah (bahan pecah belah yang diglasir), cadmium, tembaga, seng atau antimon (panci yang dilapisi email) juga dapat menimbulkan keracunan dengan berbagai gejala, tergantung pada logam-logam yang meracuninya.

Keracunan akibat kelebihan bahan pengawet juga bisa terjadi, misalnya sodium nitrit. Cadmium yang digunakan untuk melapisi barang-barang dari logam dapat larut dalam makanan yang bersifat

asam, sehingga jika ikut termakan dalam jumlah banyak makanan tersebut bisa menimbulkan keracunan. Gejalanya antara lain mual, muntah, diare, sakit kepala, otot-otot nyeri, ludah berlebihan, nyeri perut, bahkan dapat menyebabkan kerusakan hati dan ginjal. Nitrit sering digunakan sebagai bahan pengawet untuk menjaga atau mempertahankan warna daging.

Jika dikonsumsi berlebihan, makanan yang mengandung zat kimia ini mengakibatkan keracunan dengan gejala pusing, sakit kepala, kulit memerah, muntah, pingsan, tekanan darah menurun dengan hebat, kejang, koma dan sulit bernapas. Upaya pencegahan yang bisa dilakukan agar tidak teracuni zat kimia, yaitu dengan mencuci bersih buah-buahan, sayuran dan daging sebelum diolah. Selain itu, jangan menyimpan bahan makanan yang bersifat asam (sari buah, acar, asinan) di dalam panci yang terbuat dari logam (Aep Nurul Hidayah.2014)

#### **14.2.1 Klasifikasi Toksik/Racun**

Racun dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat fisik dan kimianya, kapan dan bagaimana terbentuknya serta pengaruh efeknya terhadap organ tubuh makhluk hidup. Racun diklasifikasikan dalam mempermudah untuk melakukan penelitian, hal tersebut dilakukan berdasarkan karakteristik setiap klasifikasinya. Yaitu;

##### **A. Klasifikasi berdasarkan sumbernya**

Berdasarkan sumber pencemarannya, polutan dibedakan dalam dua jenis yaitu: polutan berdasarkan sumbernya apakah dari domestic dan industry. Polutan domestic berasal dari kegiatan sehari - hari, misalnya pemukiman penduduk, pasar yang terdiri dari sisa buangan manusia (tinja), limbah deterjen dan sabun, sisa bahan makanan dan pembungkus makanan serta sisa pertanian dan peternakan.

Sedangkan polutan industry merupakan bahan sisa atau bahan buangan dari hasil samping suatu proses perindustri, seperti lumpur padat, abu, asap dari cerobong pabrik, sampah sarung tangan, masker, minyak, bahan - bahan kimia, bahan radioaktif dan sebagainya.



B. Klasifikasi berdasarkan wujud dasarnya

Klasifikasi berdasarkan wujudnya, polutan dibedakan menjadi polutan padat, polutan cair dan polutan gas. Polutan padat berupa zat atau bahan padat yang dapat menyebabkan pencemaran, seperti lumpur padat, debu, asap, sampah plastic, botol, kaca, hingga makhluk hidup seperti bakteri, jamur, dan virus. Sedangkan polutan cair adalah zat atau bahan cair seperti tumpahan minyak dari kapal tanker, zat – zat kimia cair dan lainnya. Polutan gas adalah berupa zat atau bahan gas seperti karbon monoksida, belerang dioksida, oksida nitrogen dan lainnya (Kristianto, 2004)

C. Klasifikasi berdasarkan Senyawa

Berdasarkan senyawanya dibedakan menjadi 3 yakni polutan fisik, polutan kimia dan polutan biologi. Polutan fisik merupakan polutan yang dalam bentuk fisiknya dapat mencemari lingkungan, seperti pecahan kaca, sampah plastic, botol, karet ban, besi tua dan lainnya. Polutan kimiawi merupakan polutan berbentuk senyawa kimia baik senyawa sintesis maupun senyawa alami, yang dalam konsentrasi tertentu menimbulkan pencemaran, seperti gas, karbon monoksida, logam timbal, pestisida, logam merkuri, gas karbondioksida dan lainnya. Polutan biologi merupakan polutan berbentuk makhluk hidup yang menimbulkan pencemaran seperti mikroorganisme bakteri, misalnya *E.coli*, *Entamoeba* dan lainnya (Ramade 1979)

D. Klasifikasi berdasarkan sifatnya

Berdasarkan sifatnya, polutan terbagi menjadi dua yaitu polutan biodegradable dan polutan non-biodegradable. Polutan biodegradable adalah jenis polutan yang dapat diuraikan oleh proses alamiah, seperti kertas, kayu, dedaunan, sisa makanan, bangkai makhluk hidup, dan bahan organik lainnya. Polutan ini mudah membusuk dan kemudian dapat diolah lebih lanjut menjadi kompos. Polutan jenis ini dapat berbahaya jika dibuang ke dalam lingkungan air karena dapat meningkatkan populasi mikroorganisme dalam air hingga menyebabkan kemungkinan ikut berkembangnya bakteri patogen yang berbahaya bagi manusia (Ambarwati, 2011).

Sedangkan polutan non-biodegradable bersifat tidak dapat diuraikan oleh proses alamiah sehingga tetap ada pada lingkungan dalam jangka waktu lama, seperti pecahan kaca, kaleng, logam bekas, residu radioaktif, dan lainnya. Pengelolaan berbagai macam polutan secara tepat dapat mengurangi terjadinya pencemaran pada lingkungan dengan metode memisahkan jenis-jenis polutan dan mendaur ulang polutan non-biodegradable (Arya, 2004)

### 14.2.2 Efek Toksik/Racun

Efek toksik akibat dari senyawa asing (*xenobiotic*) memberikan dampak variatif terhadap makhluk hidup, tergantung target organ, mekanisme kasi, serta besarnya dosis. Efek toksik local adalah terjadinya kontak pertama dengan bagian tubuh manusia. Contoh pada saluran pernafasan, bahan korosif pada kulit, serta iritasi gas atau uap pada saluran pernafasan. Sedangkan untuk efek sistemik adalah apabila senyawa asing terabsorpsi dan masuk ke sirkulasi sistemik kemudian terdistribusi ke organ yang menjadi target sasaran dapat menimbulkan efek (Syam. 2016). Berikut gambar beberapa benda asing dengan efek toksik lokal dan sistemik pada tubuh manusia. (Gambar 14.2)



**Gambar 14.2 :** Senyawa Lokal yang berefek sistemik

Sumber: <https://www.researchgate.net>

Efek toksik tersebut tergantung pada beberapa hal berikut diantaranya, sifat fisik dan kimia bahan toksik, situasi paparan, kerentanan sistem biologis, frekuensi pemaparan, jalur masuknya ke dalam tubuh, dan lainnya. Jalan masuk senyawa toksik ke dalam tubuh umumnya melalui saluran pencernaan, saluran pernafasan, dan kulit. Durasi pemaparan cukup lama (kronis), terjadi apabila bahan kimia terakumulasi dalam sistem biologi. Efek toksik pada kondisi kronis bersifat irreversible. Hal tersebut terjadi karena sistem biologi tidak mempunyai cukup waktu untuk mencapai kondisi menjadi pulih akibat pemaparan terus menerus dari bahan toksik (Mukono, 2002 dalam Tatang, 2017)

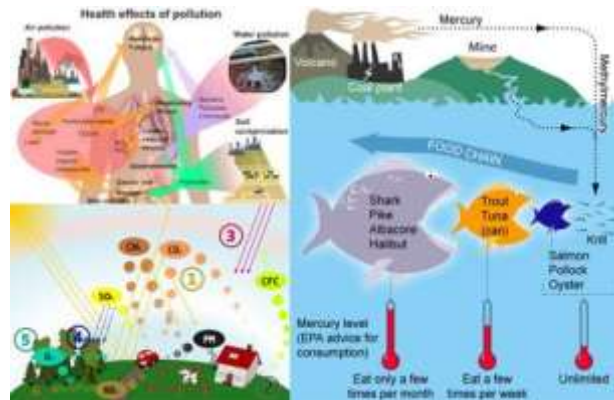
### **14.3 Resiko Toksik Pada Lingkungan**

Penilaian paparan (*Exposure Assessment*) ialah tahap dari suatu penilaian resiko lingkungan (*Environmental Risk Assessment*). Pencemaran lingkungan terjadi apabila proses material dalam lingkungan hidup mengalami perubahan, akibatnya keseimbangan dalam hal struktur maupun fungsinya dapat terganggu. Ketidakseimbangan ini terjadi akibat dari proses alam atau perbuatan manusia. Saat ini banyak kegiatan atau perbuatan manusia dalam memenuhi kebutuhan biologis berakibat pada pencemaran lingkungan. Usaha manusia dalam merubah kesejahteraan hidup dalam hal merubah lingkungan hidup berdampak pada masalah pencemaran lingkungan.

Pentingnya mengetahui resiko yang terjadi di lingkungan berhubungan dengan paparan bahan toksik pada manusia. Semakin tinggi resiko toksik pada lingkungan dapat mengakibatkan tingginya resiko bahan kimia atau racun pada manusia (Yulianto.2017). Salah satu contoh yang terjadi akibat dari tercemarnya lingkungan oleh aktifitas industri yaitu keracunan yang terjadi Teluk Minamata Jepang 1953, disebabkan oleh pencemaran limbah Merkuri. Limbah merkuri di Perairan Minamata berasal dari perusahaan Nippon Nitrogen Vertilaser yang merupakan cikal bakal Ciso Go LTD dengan produksi utama pupuk Urea. Akibat limbah merkuri tersebut, warga menderita penyakit dengan ciri-ciri sulit tidur, kaki dan tangan terasa dingin, gangguan penciuman, kerusakan pada otak, gagap bicara, hilangnya

kesadaran, bayi-bayi yang lahir cacat hingga menyebabkan kematian. Penyakit aneh ini kemudian dikenal dunia dengan sebutan Penyakit Minamata (Budiono, 2003).

Pencemaran logam berat merupakan permasalahan yang sangat serius untuk ditangani, karena dapat merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Sejak kasus merkuri di Minamata Jepang pada 1953, pencemaran logam berat semakin sering terjadi dan semakin banyak dilaporkan. Agen Lingkungan Amerika Serikat (EPA) melaporkan, terdapat 13 elemen logam berat yang diketahui berbahaya bagi lingkungan, diantaranya arsenik (As), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan kadmium (Cd). Logam berat merupakan unsur esensial yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup, namun beberapa diantaranya dalam presentasi tertentu yang bersifat racun (Tumenbayer *et al*, 2006).



**Gambar 14.3 :** Dampak Pencemaran Lingkungan

Sumber : <https://www.geologinesia.com/2017>

### 14.3.1 Toksitas Logam Berat

Toksitas adalah kemampuan senyawa kimia untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian dalam atau permukaan tubuh yang peka terhadap bahan kimia. Logam berat merupakan senyawa kimia yang dapat menimbulkan toksitas dalam penggunaannya secara berlebihan. Logam berat terbagi dalam dua jenis yaitu; jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh Zn,, Co, Mn, Cu, Fe dan banyak

lainnya. Sedangkan logam berat yang kedua yaitu logam berat yang tidak beracun/esensial, dimana keberadaanya pada tubuh belum diketahui manfaatnya atau bahkan tidak beracun. Contohnya yaitu; Hg, Pb, Cd, Cr dan lain – lain.

Penggunaan logam berat banyak ditemukan diberbagai bidang pertambangan, kesehatan, pertanian dan industry lainnya. Banyak penggunaan logam berat tidak mengikuti aturan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Contoh dalam penggunaan merkuri pada bidang pertambangan dapat menimbulkan permasalahan, jika tidak dilakukan penanganan dengan baik sebelum limbah tersebut dibuang tempat umum, maka dapat menimbulkan dampak negative terhadap lingkungan sekitarnya. Misalnya dampak terhadap kesehatan, flora dan fauna yang di sekitarnya.

Melihat permasalahan tersebut, maka perlu menjadi tugas kita dalam menangani dampak logam berat terhadap lingkungan dan kesehatan. Berikut diuraikan bebarapa contoh logam berat dan dampak terhadap lingkungan.

#### **A. Logam Berat Merkuri (Hg)**

Merkuri (Hg) adalah jenis logam yang banyak ditemukan di alam dan tersebar dalam bentuk batuan, biji tambang, tanah, air dan udara sebagai senyawa organik dan anorganik. Logam merkuri terdiri atas berbagai bentuk dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang namun dalam pemanfaatanya di lakukan pengontrolan dengan baik, maka dapat menimbulkan dampak negative atau permasalahan bagi lingkungan. Misalnya dalam bidang pertambangan, merkuri (Hg) digunakan secara luas dalam memisahkan emas dari bijinya. Saat merkuri (Hg) dicampur dengan bijih, merkuri dapat membentuk emas atau perak. Merkuri dapat terakumulasi dengan lingkungan dan dapat meracuni hewan, manusi dan mikroorganisme lainnya. Sifatnya yang udah larut, maka merkuri sangat berbahaya bagi lingkungan dan berdampak buruk bagi manusia. Beberapa bentuk merkuri yang masuk ke dalam lingkungan perairan yaitu;

1. Sebagai inorganik merkuri, melalui hujan, run-off ataupun aliran sungai. Unsur ini bersifat stabil terutama pada keadaan pH rendah.
2. Dalam bentuk organik merkuri, yaitu phenyl merkuri (C<sub>6</sub> H<sub>5</sub>-Hg), methyl merkuri (CH<sub>3</sub>-Hg) dan alkoxyalkyl merkuri atau

methoxy-ethyl merkuri ( $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{-CH}_2\text{-Hg}^+$ ). Organik merkuri yang terdapat di perairan alam dapat berasal dari kegiatan pertanian (pestisida).

3. Terikat dalam bentuk suspended solid sebagai  $\text{Hg}^{2+2}$  (ion merkuri), mempunyai sifat reduksi yang baik.
4. Sebagai metalik merkuri (Hgo), melalui kegiatan perindustrian dan manufaktur.

Unsur ini memiliki sifat reduksi yang tinggi, berbentuk cair pada temperatur ruang dan mudah menguap. Yang terbentuk sebagai fraksi terakumulasi dalam jumlah signifikan karena dapat berdampak merugikan bagi lingkungan hidup. Merkuri dikenal sebagai bahan bersifat racun mematikan apabila di manfaatkan melebihi ambang batas. Ikan atau jenis makanan apapun dengan kandungan  $> 0.5$  ppm Hg dilarang untuk dipasarkan demikian pula dengan air yang memiliki kandungan  $< 1$  md Hg/dm<sup>3</sup>.

## **B. Logam Berat Timbal (Pb)**

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2 (Sunarya, 2007).

Pencemar udara logam berat Timbal (Pb) dihasilkan dari pembakaran yang kurang sempurna pada mesin kendaraan. Logam Pb yang mencemari udara terdapat dalam dua bentuk, yaitu dalam bentuk gas dan partikel-partikel. Saat ini pemerintah telah mengupayakan penghapusan Pb dalam bensin dan menggunakan bahan pengganti Tetra Etil Lead (TEL) guna menghilangkan efek buruk yang ditimbulkan oleh Pb terhadap kesehatan (Gusnita, 2012).

“Emisi Timbal (Pb) ke udara dapat berupa gas atau partikel sebagai hasil samping pembakaran yang kurang sempurna dalam mesin kendaraan bermotor. Semakin kurang sempurna proses pembakaran dalam mesin kendaraan bermotor, maka semakin banyak jumlah Pb yang akan di emisikan ke udara” (Soemirat, 2005). Senyawa yang terdapat dalam kendaraan bermotor yaitu  $\text{PbBrCl}$ ,  $\text{PbBrCl}_2$ ,  $\text{PbO}$ ,

PbCl<sub>2</sub>, Pb(OH)Cl, PbBr<sub>2</sub>, dan PbCO<sub>3</sub>·2PbO, diantara senyawa tersebut, PbCO<sub>3</sub>·PbO merupakan senyawa yang berbahaya bagi kesehatan (LM Universty Perss. 2017)

Menurut Environment Project Agency, sekitar 25% logam berat Timbal (Pb) tetap berada dalam mesin dan 75% lainnya akan mencemari udara sebagai asap knalpot. Emisi Pb dari gas buangan tetap dapat menimbulkan pencemaran udara dimanapun kendaraan itu berada, tahapannya adalah sebagai berikut (Surani, 2002): 1. Sebanyak 10% akan mencemari lokasi dalam radius kurang dari 100 m, 5 % akan mencemari lokasi dalam radius 20 km, 2. 35% lainnya terbawa atmosfer dalam jarak yang cukup jauh. Kabut kendaraan bermotor mengeluarkan logam berat diantaranya timbal. Timbal ini tetap berada di udara selama 4 – 40 hari, sehingga hal ini menyebabkan partikelnya dapat tersebar oleh angin hingga mencapai jarak 100 - 1000 km dari sumbernya. Di alam diketahui 200 jenis mineral timbal, tetapi hanya beberapa saja yang penting misalnya galena (PbS), rusit (PbCO<sub>3</sub>), anglesit (PbSO<sub>4</sub>). Timbal juga terbentuk bersama dengan Zn dalam batuan. WHO (1994) menetapkan batas maksimal serapan timbal oleh manusia dewasa sebesar 400 - 450 µg/hari” (Fergusson dalam Seani, 1995).

### **C. Logam Berat Cadmium (Cu)**

Cadmium (Cd) adalah logam yang berwarna putih perak, lunak, mengkilap dan tidak larut dalam basa mudah bereaksi serta menghasilkan Kadmium Oksida bila dipanaskan. Berdasarkan sifat fisiknya cadmium (Cd) dapat kehilangan daya kilapnya bila berada dalam udara yang basah atau lembab serta cepat mengalami kerusakan apabila terkena uap amonik (NH<sub>3</sub>) dan sulfur hidroksida (SO<sub>2</sub>).

Keberadaan cadmium di alam berhubungan erat dengan hadirnya logam timbal (Pb) dan seng (Zn). Pada industry pertambangan timbal (Pb) dan seng (Zn), proses pemurniannya selalu memperoleh hasil samping cadmium yang terbuang dalam lingkungan. Cadmium masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi. Mengukur cadmium intake ke dalam tubuh manusia perlu dilakukan pengukuran

presentasi kadmium dalam makanan yang dimakan atau kandungan cadmium dalam faeses. (Darmono, 2001)

Cadmium berpotensi besar dapat merugikan dan mempengaruhi kualitas lingkungan dan pencemaran melalyi rantai makanan. Kosentrasi cadmium dalam makanan merupakan phatway dari akumulasi logam yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Penyebaran pencemaran dalam lingkungan perairan sangat dipengaruhi oleh sejumlah proses pengangkutan interaktif, seperti penguapan, prseptitasi dari udara, pencucian dan aliran.

Proses masuknya zat polutan pada lingkungan melalui atmosfer, tanah dan sedimen. Logam cadmium membawa sifat racun yang dapat merugikan bagi semua organisme bahkan dapat berbahaya bagi manusia. Pada badan air kelarutan cadmium dalam kosentrasi tertentu dapat membunuh biota perairan (Connel and Miller, 1995)

#### **D. Logam Berat Arsenik (As)**

Arsen merupakan satuan surpaling beracun dijumpai dalam tanah, air dan udara. Secara alami arsen dihasilkan dari letusan gunung vulkanik yang dapat melepaskan sekitar 3000 ton setiap tahun. Meskipun demikian aktivitas manusialah yang diduga bertanggung jawab atas pelepasan arsen lebih dari 80.000 ton tiap tahun karena pembakaran bahan bakar dari fosil dan berbagai kegiatan industri. Arsen banyak ditemukan di dalam air tanah dan terbagi dalam dua bentuk, yaitu bentuk tereduksi, ter- bentuk dalam kondisi anaerobik, sering disebut arsenit. Arsenat adalah bentuk teroksidasi yang terjadi pada kondisi aerobik, (Titin, 2010)

Kontaminasi arsenik telah terjadi sebagai akibat dari kedua proses geologi alam dan kegiatan manusia. Sumber antropogenik arsenik termasuk manusia kegiatan seperti penambangan dan pengolahan bijih. Proses peleburan, baik yang zam kuno dan yang saat ini terjadi, dapat melepaskan jenis sumber dapat mempengaruhi kualitas air permukaan tanah ejeksi dan limpasannya. Cara lain kontaminasi air tanah adalah melalui sumber geologi seperti mineral arsenik. Jenis ketiga sumber yang sedimen dan meta-sedimen tidur batuan (Smedley & Kinniburgh, 2002).



Sebagian besar cat, pewarna, sabun, logam, semikonduktor dan obat-obatan mengandung arsenik. Pestisida tertentu, pupuk dan operasi makanan hewan juga melepaskan arsenik ke lingkungan dalam jumlah yang lebih tinggi. Bentuk-bentuk organik arsenik seperti arsenit dan arsenat yang ditemukan lebih berbahaya bagi kesehatan manusia. Mereka sangat karsinogenik dan dapat menyebabkan kanker paru-paru, hati, kandung kemih dan kulit. Manusia yang terkena arsenik dengan udara, makanan dan air. Minum air yang terkontaminasi dengan arsenic adalah salah satu penyebab utama keracunan arsenik di lebih dari 30 negara di dunia” (Chowdhury et al., 2000). Jika tingkat arsenik dalam air tanah adalah 10 - 100 kali nilai yang diberikan dalam pedoman WHO untuk air (10 mg/L) minum, dapat menjadi ancaman bagi kesehatan manusia (Hoque et al., 2011).

Air dapat terkontaminasi melalui bahan kimia arsenik banyak dijual, pestisida arsenik atau deposit mineral alami. Toksisitas arsenik dapat berupa toksisitas arsenik akut atau kronis dan kronis disebut sebagai arsenikosis. Sebagian besar laporan toksisitas arsenik kronis pada pria fokus pada manifestasi kulit karena kekhususan dalam diagnosis. Pigmentasi dan keratosis adalah lesi kulit tertentu yang menunjukkan toksisitas arsenik kronis (Martin & Griswold, 2009).

Pencemaran logam berat merupakan permasalahan yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Sejak kasus merkuri di Minamata Jepang pada 1953, pencemaran logam berat semakin sering terjadi dan semakin banyak dilaporkan. Agen Lingkungan Amerika Serikat (EPA) melaporkan, terdapat 13 elemen logam berat yang diketahui berbahaya bagi lingkungan, diantaranya arsenik (As), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan kadmium (Cd). Logam berat sendiri sebenarnya merupakan unsur esensial yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup, namun beberapa diantaranya dalam persentasi tertentu yang bersifat racun” (Tumenbayar et al, 2006).

Di alam, unsur ini biasanya terdapat dalam bentuk terlarut atau tersuspensi (terikat dengan zat padat) serta terdapat sebagai bentuk ionik. Dampak dari pencemaran logam berat ini sering dilaporkan. Merkuri misalnya, merupakan salah satu jenis logam berat berbahaya karena berisiko tinggi terhadap tubuh. Elemen ini berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan

dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Secara prinsipil, pada konsentrasi rendah berpengaruh terhadap gangguan paru-paru, emphysema dan renal tubular disease kronis. Upaya penanganan pencemaran logam berat sebenarnya dapat dilakukan dengan menggunakan proses kimiawi. Seperti penambahan senyawa kimia tertentu untuk proses pemisahan ion logam berat atau dengan resin penukar ion (exchange resins), serta beberapa metode lainnya seperti penyerapan menggunakan karbon aktif, electro dialysis dan reverse osmosis. Namun proses ini relatif mahal dan cenderung menimbulkan permasalahan baru, yaitu akumulasi senyawa tersebut dalam sedimen dan organisme akuatik (perairan) (Budiono, 2003).

Permasalahan lingkungan di Indonesia dinilai sudah cukup kompleks dan semakin memprihatinkan. Berbagai pencemaran lingkungan terjadi baik di darat, laut, dan di udara. Pencemaran ini sebagian besar diakibatkan oleh kegiatan dan aktivitas manusia yang meninggalkan limbah baik limbah rumah tangga, limbah pertanian, limbah industri, dan lainnya secara sembarangan. Permasalahan ini menjadi toksi bagi lingkungan dan sekitarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budiono. A. 2003. *Pengaruh Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air*. Institut Pertanian Bogor.
- Connell, W. and Miller, G. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. (Diterjemahkan oleh Yanti Koestoerdan Sahati). UI Press, Jakarta. p. 366–369
- Chowdhury UK, Biswas BK, dkk. 2000. *Groundwater arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal, India*. *Environ Health Perspect*; 108(5): 393–397.
- Darmono. 2001. *Lingkungan hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi senyawa logam*. Penerbit Universitas Indonesia, UI-Press. Jakarta
- Fergusson, J.E. 1990. *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effect*. Pergamon Press, New York
- Hoque MA, dkk. 2011. *Delineating low-arsenic groundwater environments in the Bengal Aquifer System, Bangladesh*. *Appl Geochem*; 26(4): 614–623.
- L. Gusnita D. 2012. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Di Udara Dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal*. *Berita Dirgantara*, 13(3): 95-101. Meily. K, dkk. 2021. *Konsep Dasar Toksikologi Industri*. Jakarta: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia, 16424
- Juli. S, Hertanto D. A. 2017. *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- H.J. Mukono. 2010. *Toksikologi Lingkungan*. Surabaya: Airlangga University Press
- Martin. S & Griswold. W. 2009. *Human Health Effects of Heavy Metals Environmental Science and Technology Briefs for Citizens*; (15): 1–6
- Rosihan.A & Husaini. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Sunarya & Yayan. 2007. *Kimia Dasar*. Bandung: Alkemi Grafisindo Press
- Soemirat, J. 2005. *Toksikologi Lingkungan*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

- Smedley PL, Kinniburgh DG. 2002. *A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters*. Appl Geochem 17: 517–568.
- Titin A. 2010. *Kontaminasi logam berat pada makanan dan dampaknya pada kesehatan*. Teknubuga; 2(2): 53-65.
- Menbayar. B, Murao S., Uramгаа J., Maidar T. 2006. *Environmental Sampling for Mercury Study. Workshop on the State-of-the Art of Science and Technology to Protect the Environment and People*. Bandung, Indonesia.
- Yulianto, B.E & Nurul.A. 2017. *Buku Ajar Kesehatan Lingkungan Toksikologi Lingkungan*. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan. Kementrian Kesehatan Republik
- Tanti.T, Sugianto, Kuswandi.M. & Sindu. N. 2017. *Toksikologi Lingkungan*. UGM Universitas Perss
- Tumenbayar. B, Murao S., Uramгаа J., Maidar T. 2006. *Environmental Sampling for Mercury Study. Workshop on the State-of-the Art of Science and Technology to Protect the Environment and People*. Bandung, Indonesia.Indonesia.
- <https://keselamatankerja.com/toksikologi-lingkungan/>  
<https://www.geologinesia.com/2017/10/dampak-pencemaran-lingkungan.html>

## BIODATA PENULIS



**Effine Lourrinx, S.T., M.Ling.**

Dosen Program Studi D-4 Keselamatan dan Kesehatan Kerja  
Politeknik Rukun Abdi Luhur, Kudus

Penulis lahir di Bandar Lampung, pada 15 Juni 1994. Penulis merupakan seorang dosen pada program studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Politeknik Rukun Abdi Luhur, Kudus. Penulis juga merupakan praktisi di bidang lingkungan hidup sebagai konsultan independen pada penyusunan dokumen PROPER dan dokumen UKL-UPL.

## **BIODATA PENULIS**



**Wiwiek Mulyani, SKM., M. Sc**  
Staf Dosen Jurusan Kesehatan Lingkungan

Penulis Lahir di Jayapura tanggal 26 Maret 1977. Penulis adalah Dosen Tetap pada Program Studi Diploma III Sanitasi Jayapura, Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Jayapura. Menyelesaikan Pendidikan D-III pada Akademi Kesehatan Terpadu Jayapura, Jurusan Kesehatan Lingkungan, Strata satu (S1) pada Jurusan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro Semarang dan melanjutkan Pendidikan Magister (S2) pada Fakultas Kedokteran Peminatan Ilmu Kesehatan Kerja pada Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Bidang ilmu yang ditekuni Ilmu Kesehatan Kerja.

## **BIODATA PENULIS**



**Dyah S Pradnya P, S.T., M.T.**

Dosen Program Studi Arsitektur

Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret ( UNS )

Penulis lahir di Solo, tanggal 22 Januari 1971. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret (UNS). Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Arsitektur\_UNS dan melanjutkan S2 pada Prodi Arsitektur (UGM). Pada tahun 2022, penulis sedang menempuh Program Doktoral (S3)\_Ilmu Lingkungan di Universitas Sebelas Maret (UNS). Penulis melakukan publikasikan artikel dari materi pengajaran, penelitian dan pengabdian (Tri Darma), sebagai aktivitas setiap tahun.

## **BIODATA PENULIS**



**Dr. Ir. Musyawaroh, M.T.**

Dosen Program Studi Arsitektur  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Penulis lahir di Kudus tahun 1959. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Arsitektur Universitas Diponegoro Semarang tahun 1988, pendidikan S2 pada Jurusan Arsitektur Program Studi Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 2001, dilanjutkan pada Pendidikan S3 Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta tahun 2019. Penulis tergabung dalam Riset Grup Arsitektur dan Lingkungan dan menjadi peneliti serta pengabdian pada masyarakat pada bidang yang terkait dengan Arsitektur dan Lingkungan. Antara lain konservasi berkelanjutan Kawasan warisan budaya Kauman Surakarta, Merancang Unit Pengolah Air Limbah Home Industry Batik, dan penataan Desa Agrowisata Puntukrejo Ngargoyoso Karanganyar.



## **BIODATA PENULIS**



**Satya Darmayani S.Si., M.Eng.**

Dosen tetap Jurusan Teknologi Laboratorium Medis pada Institusi Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Kendari

Penulis lahir di Kendari tanggal 29 September 1987. Lulus S1 di Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Haluoleo tahun 2010. Lulus S2 di Program Magister Pengendalian Pencemaran Lingkungan (MTPPL) Universitas Gadjah Mada tahun 2013. Saat ini adalah dosen tetap Jurusan Teknologi Laboratorium Medis pada Institusi Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Kendari. Penulis mengampuh mata kuliah Pengantar Laboratorium Medik, Kimia Analitik, Kimia Analisis Air Makanan dan Minuman, Toksikologi, serta mata kuliah Metodologi Penelitian. Aktif menulis artikel di berbagai jurnal ilmiah maupun rubrik koran, menulis book chapter, reviewer jurnal nasional dan jurnal internasional, serta sebagai presenter di beberapa konferensi Nasional maupun Internasional. Penulis juga beberapa kali menjadi narasumber pada workshop/seminar online baik skala lokal maupun Nasional.

## **BIODATA PENULIS**



**Tri Yuni Iswati, ST., MT.**

Dosen Program Studi Arsitektur  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Penulis lahir di Yogyakarta tanggal 20 Juni 1971. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Arsitektur FT UGM pada tahun 1991 dan menyelesaikan S2 pada Jurusan Teknik Arsitektur FT UGM pada tahun 2001. Penulis merupakan dosen yang berkecimpung di Riset Grup Arsitektur Berkelanjutan, sedang menempuh pendidikan S3 di prodi Ilmu Lingkungan Pascasarjana UNS. Penulis tinggal di dusun Gowok kelurahan Caturtunggal Kecamatan Depok Kabupaten Sleman Yogyakarta, memiliki hobi bertanam anggrek dan traveling.

## BIODATA PENULIS



**Musfirah, S.Si., M.Kes.**

Dosen Program Studi Kesehatan Masyarakat Peminatan Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan

Penulis lahir di Sinjai, 5 Desember 1987, memiliki rekam jejak pendidikan diantaranya S1 Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin tahun 2009; S2 Kesehatan Lingkungan Program Pascasarjana FKM Universitas Hasanuddin tahun 2014. Berbagai kegiatan pelatihan yang pernah diikuti diantaranya : *3 Days Intensive Training Course for Environmental Health and Disaster Management : Disaster Risk Reduction EHS-UNISDR-Griffith University-UNISDR-Udayana University*, Bali tahun 2016; Pelatihan Penyusunan AMDAL (AMDAL B) pada Tahun 2018, dan *Standard precautions: Environmental cleaning & disinfection yang diselenggarakan oleh WHO : Health Emergencies Programme* tahun 2021. Penulis aktif dalam pelaksanaan tridarma perguruan tinggi sejak berkiprah menjadi Dosen Tetap di Prodi Kesehatan Masyarakat FKM Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta mulai Agustus Tahun 2015 sampai sekarang. Publikasi karya ilmiah pada jurnal nasional terakreditasi dan internasional serta memenangkan hibah RistekDikti skema Penelitian Dosen Pemula tahun 2017 dan 2018, HIBAH Kerjasama Penelitian Kelompok Kerja Sanitasi Dinkes Kota Yogyakarta - FKM UAD tahun 2018 dan Hibah Riset Muhammadiyah *Batch V* pada tahun 2021. Penghargaan yang telah diperoleh diantaranya sebagai Dosen Muda Berprestasi dan Pemakalah terbaik dalam ajang Seminar Nasional. Buku yang pernah diterbitkan dengan judul yaitu *Pencemaran Air dan Penilaian Risiko Kesehatan Lingkungan* (Tahun 2017), *Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan* :

Pencemaran Udara (Tahun 2018), Kesehatan & Keselamatan Kerja *ERA SOCIETY* 5.0, *Hygiene* dan Sanitasi di Tempat Wisata : Kajian Adaptasi *New Normal*, Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Masyarakat, dan Epidemiologi Lingkungan (Tahun 2022).  
Email Penulis: musfirah@ikm.uad.ac.id

## BIODATA PENULIS



**Dr. Lukman Handoko, S.KM, MT**

Dosen Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja -  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Dr. Lukman Handoko, S.KM, MT lahir di Nganjuk, Jawa Timur, adalah dosen Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja - Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sejak 2003. Memperoleh gelar Doktor pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga, Surabaya; gelar Magister Teknik pada Program Studi *Industrial Ergonomics and Safety* Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya; gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga, Surabaya. Sebagai Aessor Kompetensi Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP) bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), Keselamatan dan Kesehatan Kerja Kebakaran, Memperoleh Sertifikat Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja Umum dari Depnakertrans RI pada Tahun 2004, Ahli Pengadaan barang/Jasa Pemerintah pada tahun 2016, Sertifikat Auditor Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan kerja (SMK3) dari Depnakertrans RI Tahun 2020, Sertifikat Keselamatan dan Kesehatan Kerja Kebakaran Kelas D dan C Tahun 2020, Sertifikat Keselamatan dan Kesehatan Kerja Kebakaran Kelas B serta Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja Kebakaran dari Depnakertrans RI Tahun 2021. Penulis telah menghasilkan beberapa buku dan modul antara lain Buku Ajar

Pertolongan Pertama pada Kecelakaan (2010), Buku Ajar *Life Science - Anatomi Fisiologi Manusia* (2011), Modul Ajar Keselamatan dan Kesehatan kerja (2018), Modul Praktikum Sistem Pencegahan dan Penanggulangan Kebakaran (2019), Book Chapter Keselamatan Kerja dan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit (2021), Pekerja Perempuan dan Upaya Pencegahan Faktor Risiko Stunting : *Book Chapter* Stunting (2022), Pencemaran Lingkungan Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Manusia Physical Hazard : *Book Chapter* Kesehatan Lingkungan (2022) Kebisingan dan Pengaruhnya terhadap Pendengaran Tenaga Kerja : *Book Chapter* Penyakit Akibat Kerja dan Alat Pelindung Diri (2022), Sanitasi Rumah Sakit : Pengamanan Radiasi (2022). Pernah Memenangkan Hibah Iptek bagi Masyarakat (IbM) DRPM Sebagai Ketua pada tahun 2014, 2016 dan 2017. Penelitian Dosen Pemula DRPM tahun 2015. Mengikuti berbagai workshop, simposium, oral presentasi tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja.

## **BIODATA PENULIS**



**Dr. Suriani Nur, S.T., M.Si.**

Dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah (PGMI) Fakultas Tarbiyah IAIN Bone

Dr. Suriani Nur, S.T., M.Si. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah (PGMI) Fakultas Tarbiyah IAIN Bone. Mengajar ilmu alamiah Dasar, Metodologi Riset, Bimbingan penulisan Karya Ilmiah, IPA 1, PA 2 dan Pembelajaran IPA. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia Fak. Teknologi Industri UMI, melanjutkan S2 pada Jurusan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan konsentrasi Teknologi Lingkungan, Pendidikan terakhir S3 Program Studi Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup (PKLH) UNM. Penulis menekuni bidang Menulis Ilmu Alamiah, Ilmu Lingkungan Hidup, Sains dan Teknologi.

Beberapa judul buku telah dihasilkan antara lain: Ilmu Alamiah Dasar, Strategi Pembelajaran PKLH Untuk generasi Berkualitas, Perempuan dan energi Alternatif Perdesaan dan Pendidikan Karakter dan Pembelajaran IPA berbasis Saintifik

## **BIODATA PENULIS**



**Bulkis Musa, S.Si., M.Si.**

Dosen Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu  
Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Penulis lahir di Sampeang (Luwu) pada tanggal 5 September 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Prodi Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin pada tahun 2013 dan menyelesaikan pendidikan S2 pada tahun 2016 di Prodi Magister Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin pada bidang konsentrasi Kimia Anorganik.



## **BIODATA PENULIS**



**Dr. Waode Rustiah, S.Si., M.Si.**

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis  
Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Pangkep pada tanggal 30 Januari 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 tahun 2002 pada Jurusan Kimia di Universitas Hasanuddin, dan melanjutkan S2 pada tahun 2005 di Institut Teknologi Bandung (ITB) pada bidang konsentrasi Kimia Analitik. Pada tahun 2019 telah menyelesaikan pendidikan S3 pada Program Doktor Ilmu Kimia di Universitas Hasanuddin.

## BIODATA PENULIS



**Tri Joko Daryanto, S.T., M.T.**  
Dosen Program Studi Arsitektur  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Penulis lahir di Surakarta tanggal 9 Mei 1969. Alamat tempat tinggal Jatiwiro RT.004/RW.002 Blanceran, Karanganyar, Klaten. Bekerja sebagai Dosen tetap pada Program Studi Arsitektur FT UNS sejak tahun 1997 sampai sekarang. Menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Arsitektur di FT UGM pada tahun 1995. Selanjutnya menyelesaikan pendidikan S2 Teknik Arsitektur di Program Magister Teknik Arsitektur UNDIP pada tahun 2004. Aktif dalam organisasi Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI) dan Ikatan Arsitek Indonesia (IAI)

## **BIODATA PENULIS**



**Ir. Ana Hardiana, M.T,**  
Dosen Program Studi Arsitektur  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Penulis lahir di Yogyakarta tanggal 19 September 1969. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Menyelesaikan pendidikan S1 & S2 pada Jurusan Teknik Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

## **BIODATA PENULIS**



**Marlia Mamede.,S.T.,M.Ling**

Dosen Politeknik Indonesia Makassar  
Program Studi Teknologi Lingkungan

Penulis lahir di Ujung Pandang tanggal 08 April. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Lingkungan. Menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Veteran Republik Indonesia pada Jurusan Teknik Pertambangan kemudian melanjutkan S2 di Universitas Hasanuddin pada Jurusan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Penulis telah melakukan penelitian terkait dengan sulfat pada air asam tambang batubara. Penulis pernah bekerja sebagai tenaga teknis pada Dinas Pertambangan Kabupaten Paser Kalimantan Timur pada bidang Pengawasan Tambang & K3, Bidang Konservasi dan Sumber Daya Alam. Penulis sebagai dosen tidak tetap di Universitas Pejuang Republik Indonesia bidang Studi Teknik Peledakan, Tambang Terbuka dan Tambang Bawah Tanah, dan bidang studi Rencana Reklamasi dan Penutupan Tambang.