

Diana Sylvia, M.Si.
Baiq Inggar Linggarweni, SP.,M.Sc.
Nurhajawarsi, M.Si.
Mega Fia Lestari, S.Pd, M.Sc.
Dr. Lieza Corsita, S.T,M.T.
Rosita Dwityaningsih, S.Si., M.Eng.
Hijriati Sholehah, S.Si., M.Si.
Juwairiah, S.Pd., M.Si.
Halijah. S.Pd., M.Pd.
Dr. Herniwanti, S.Pd., Kim.M.S

KIMIA LINGKUNGAN

Editor:
Ahmad Ruhardi, S.Si., M.KL



KIMIA LINGKUNGAN

KIMIA LINGKUNGAN

Diana Sylvia, M.Si.

Baiq Inggar Linggarweni, SP.,M.Sc.

Nurhajawarsi, M.Si.

Mega Fia Lestari, S.Pd, M.Sc.

Dr. Lieza Corsita, S.T,M.T.

Rosita Dwityaningsih, S.Si., M.Eng.

Hijriati Sholehah, S.Si., M.Si.

Juwairiah, S.Pd., M.Si.

Halijah. S.Pd., M.Pd.

Dr. Herniwanti, S.Pd., Kim.M.S.



KIMIA LINGKUNGAN

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

Diana Sylvia, M.Si.
Baiq Inggar Linggarweni, SP.,M.Sc.
Nurhajawarsi, M.Si.
Mega Fia Lestari, S.Pd, M.Sc.
Dr. Lieza Corsita, S.T,M.T.
Rosita Dwityaningsih, S.Si., M.Eng.
Hijriati Sholehah, S.Si., M.Si.
Juwairiah, S.Pd., M.Si.
Halijah. S.Pd., M.Pd.
Dr. Herniwanti, S.Pd., Kim.M.S.

Editor: Ahmad Ruhardi, S.Si., M.KL

Cetakan Pertama : Januari 2022

Cover: Rusli

Tata Letak : Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2022, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT
Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2022 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I - : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2022
; 14,8 x 21 cm
ISBN : 978-623-5847-93-1

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada kami sehingga kami berhasil menyelesaikan Buku dengan judul Kimia Lingkungan sesuai yang ditargetkan. Buku ini berisikan tentang penjelasan mengenai kimia lingkungan yang diuraikan dalam 10 Bab dalam buku ini dari apa itu kimia lingkungan, apa saja yang termasuk kimia lingkungan, dampaknya terhadap lingkungan dan materi materi lainnya yang mendukung terhadap penjelasan kimia lingkungan. Kami menyadari bahwa Buku ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun selalu kami harapkan demi kesempurnaan buku ini.

Akhir kata, kami sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan Buku ini dari awal sampai akhir. Semoga Allah SWT senantiasa meridhoi segala usaha kita. Amin.

Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1 PENGENALAN KIMIA LINGKUNGAN	1
A. Pengertian.....	1
B. Pencemaran	2
C. Macam-macam Pencemaran Lingkungan.....	6
1. Pencemaran udara	6
2. Pencemaran Air	9
3. Pencemaran Tanah.....	11
BAB 2 PENGENALAN EKOSISTEM, TEKNOLOGI DAN DAMPAKNYA.....	15
A. Pengenalan Ekosistem.....	15
1. Struktur Ekosistem	16
B. Tipe Ekosistem	19
1. Kelompok ekosistem bahari.....	19
2. Kelompok ekosistem darat alami.....	20
3. Kelompok ekosistem suksesi	21
4. Kelompok ekosistem buatan.....	21
C. Contoh Ekosistem.....	21
1. Ekosistem Kolam.....	21
2. Ekosistem padang rumput.....	23
D. Toleransi Spesies Terhadap Faktor Abiotik	24
E. Teknologi dan Dampaknya	26
F. Kesadaran Lingkungan.....	32
BAB 3 ATMOSFER DAN KIMIA ATMOSFER.....	38
A. Atmosfer Bumi	39

1. Lapisan dan Struktur Vertikal Atmosfer	39
2. Komposisi Atmosfer	42
B. Reaksi Kimia pada Atmosfer	44
1. Reaksi Oksigen di Atmosfer	45
2. Reaksi Nitrogen di Atmosfer	49
3. Reaksi Sulfur di Atmosfer	52
4. Reaksi Hidrokarbon di Atmosfer	54
5. Reaksi Karbon Monoksida dan Karbon Dioksida di Atmosfer	55
C. Partikulat di Atmosfer	56
 BAB 4 POLUTAN DAN PENCEMARAN UDARA	63
A. Pengertian Pencemaran Udara	63
B. Sumber Dan Penyebab Pencemaran Udara	67
C. Pengertian Dan Jenis Pencemar Udara (<i>Air Pollutants</i>)	73
1. Kriteria Polutan Udara (Criteria Air Pollutants) ...	73
2. Racun Udara (<i>Air Toxics</i>)	77
3. Pencemaran Biologis (<i>Biological Pollutants</i>)	78
D. Dampak Pencemaran Udara	82
1. Dampak kepada manusia	82
2. Dampak kepada lingkungan	83
E. Regulasi	91
F. Pengurangan (<i>Reduction</i>)	92
 BAB 5 HIDROSFER DAN DASAR-DASAR KIMIA PERAIRAN	106
A. Karakteristik Hidrosfer	106
1. Siklus Hidrologi	107
2. Karakteristik Badan Air	109
B. Fungsi dan klasifikasi penggunaan Air	113
1. Parameter Kimia Perairan	113

BAB 6 REAKSI-REAKSI KIMIA DI PERAIRAN	123
A. Lingkungan Perairan.....	123
1. Siklus Hidrologi	124
2. Kualitas Lingkungan Perairan	127
B. Parameter Kimia Perairan	130
1. Dissolved Oxygen (DO).....	130
2. Biological Oxygen Demand (BOD)	130
3. Chemical Oxygen Demand (COD).....	131
C. Reaksi – Reaksi Kimia di perairan.	131
1. Reaksi Karbondioksida Di Perairan	131
2. Reaksi Netralisasi.....	135
3. Reaksi Pengendapan.....	137
4. Reaksi Reduksi dan Oksidasi (Redoks).....	140
 BAB 7 PENCEMARAN AIR DAN PENJERNIHAN AIR.....	143
A. Pencemaran Air	143
1. Definisi pencemaran air	143
2. Sumber Pencemar	144
3. Sifat-sifat air tercemar	144
4. Dampak Pencemaran Air	152
B. Penjernihan Air.....	154
1. Prinsip Penjernihan Air Dengan Metode Fisika ..	155
2. Prinsip Penjernihan Air Menggunakan Metode Kimia	161
 BAB 8 GEOSFER DAN KIMIA TANAH	164
A. Geosfer	164
1. Atmosfer	164
2. Litosfer	165
3. Hidrosfer	167
4. Biosfer	168
5. Antroposfer	169

B. Sifat Kimia Tanah.....	170
1. Pertukaran Kation	172
2. Kapasitas Tukar Kation/ Anion (KTK/ KTA)	173
3. Kejenuhan Basa (KB)	175
4. pH Tanah (Kemasaman Tanah)	176
 BAB 9 POLUTAN DAN POLUSI TANAH	182
A. Pengertian Tanah	183
B. Pencemaran Tanah	186
1. Pengertian Pencemaran Tanah.....	186
2. Penyebab Pencemaran Tanah	191
3. Jenis Polutan	191
4. Jenis Pencemaran Tanah	192
5. Dampak Pencemaran Tanah	199
6. Pencegahan Pencemaran Tanah.....	206
 BAB 10 TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN	211
A. Definisi Dan Terminologi	211
B. Ruang Lingkup Ilmu Toksikologi	214
C. Tujuan Ilmu Toksikologi.....	216
D. Sejarah Ilmu Toksikologi.....	218
E. Berbagai Cabang Ilmu Toksikologi.....	224
DAFTAR PUSTAKA.....	228
BIOGRAFI PENULIS	240

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Komposisi Atmosfer Bumi.....	42
Tabel 4.2 Reaksi pembentukan partikulat dari material anorganik.....	58
Tabel 5.1 Komposisi Gas di Udara Kering Yang Bersih	67
Tabel 6.1 Distribusi Air di Bumi.....	108
Tabel 6.2 Karakteristik Fisika dan Kimia Tanah.....	112
Tabel 6.3 Persentase volume gas karbondioksida di atmosfer	116
Tabel 6.4 Kation-Kation Penyusun Kepadatan dan Anion- Anion Pasangan/Asosiasi.....	117
Tabel 7.1 Nilai Kelarutan Karbondioksida pada Air	131
Tabel 7.2 Perbandingan Karakterisasi Air Hujan Kota Malang	134
Tabel 8.1 hubungan antara suhu dengan konsentrasi oksigen terlarut maksimum pada tekanan 1 atmosfer.....	148
Tabel 9.1 Perbedaan Koloid Anorganik dan Organik.....	171
Tabel 9.2 KTK berbagai Tekstur Tanah	174
Tabel 9.3 Kriteria Kelas Nilai KTK Tanah.....	175
Tabel 9.4 Klasifikasi Kemasaman (pH) Tanah	178
Tabel 11.1 Diversifikasi dalam Bidang Toksikologi.....	225

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Struktur Vertikal Atmosfer	40
Gambar 4.2 Konsentrasi ozon permukaan BMKG Kemayoran Jakarta (Juni 2021)	48
Gambar 4.3 Konsentrasi ozon permukaan GAW Kototabang (Juli 2021)	49
Gambar 4.4 Siklus nitrogen.....	50
Gambar 4.5 Konsentrasi NO ₂ di berbagai Stasiun pemantau BMKG (Agustus 2021).....	52
Gambar 4.6 Konsentrasi SO ₂ di berbagai Stasiun pemantau BMKG (Agustus 2021).....	54
Gambar 4.7 Konsentrasi gas Rumah Kaca (CH ₄ dan CO ₂) di Stasiun GAW Kototabang	56
Gambar 4.8 Pemantauan partikulat (PM ₁₀) di Kota Medan dan partikulat (PM _{2,5}) di Kota Pekanbaru	60
Gambar 5.1 Pencemaran Udara Bersumber dari Industri	66
Gambar 5.2 Sumber Utama Pencemaran Udara.....	69
Gambar 5.3 Perbedaan Ozon Baik dan Ozon Buruk	77
Gambar 5.4 Aerosol Bersumber Dari Bahan Kimia dan Manusia	79
Gambar 5.5 Hutan Pohon Kabut	80
Gambar 5.6 Kabut asap.....	80
Gambar 5.7 Ilustrasi Penyebab Global Warming.....	85
Gambar 5.8 Jalur Terjadinya Ujan Asam	87
Gambar 5.9 Skala pH.....	88
Gambar 5.10 Ozon di Atmosfer	89
Gambar 5.11 Simulasi Terjadinya Kerusakan Lapisan Ozon .	91
Gambar 5.12 Panel Surya sebagai Sumber Energi di Rumah.	96
Gambar 5.13 Jemuran Pakaian untuk Mengeringkan Baju.....	98
Gambar 6.1 Siklus Hidrologi.....	109
Gambar 6.2 Skema Lapisan Air Tanah	112

Gambar 6.3 Proses dekomposisi organik dan nitrifikasi pada penentuan BOD	121
Gambar 8.1 Filter.....	157
Gambar 8.2 Model Aliran Filter	158
Gambar 8.3 Kombinasi filter dan Aerasi.....	159
Gambar 8.4 Penjernihan Air dengan cara Koagulasi	162
Gambar 8.5 Contoh Aerasi dengan cara gravitasi.....	163
Gambar 9.1 Siklus Hidrologi Air.....	168
Gambar 9.2 Kapasitas Tukar Kation (KTK) pada Tanah	173
Gambar 9.3 Ilustrasi KTK Tanah.....	174
Gambar 10.1 Pencemaran Logam Berat Pada Lahan Pertanian di Cina.....	198
Gambar 10.2 Penggunaan Pestisida yang Langsung ke Tanah	203
Gambar 10.3 Limbah sampah perdagangan	204
Gambar 10.4 Limbah padat rumah tangga	205
Gambar 10.5 Pemanfaatan Plastik Kresek Bekas.....	207
Gambar 10.6 Pembatas Taman Terbuat dari Ecobric Botol Plastik Diisi Potongan Plastik.....	208
Gambar 11.1 Tiga Bidang Dasar dalam Toksikologi dan Kaitannya dalam Kajian Risiko	216
Gambar 11.2 Ilmu yang Menunjang Toksikologi.....	227

BAB 10

TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

Dr.Herniwanti.S.Pd,Kim.M.S

Magister Ilmu Kesehatan Masyarakat, Sekolah Tinggi Ilmu
Kesehatan Hang Tuah Pekanbaru

A. Definisi Dan Terminologi

Toxicology is the study of the potential of substances to cause harm to a biological system

Toksikologi adalah ilmu yang mempelajari potensi bahaya suatu bahan pada sistem biologis

“The science to study the adverse effects of chemicals on living organisms”

Ilmu yang mempelajari efek yang merugikan dari bahan kimia pada organisme hidup

Gambar. Definisi Toksikologi. (Sumber: Klaassen, 2008)

Awal mulanya toksikologi didefinisikan sebagai ‘ilmu yang mempelajari racun’. Istilah toksikologi berarti ‘ilmu racun’. Kata toksik dalam bahasa Indonesia merupakan kata serapan dari bahasa Inggris toxic ‘beracun’ dan berkombinasi dengan logos ‘ilmu’. Kata toxic sendiri berasal dari bahasa Latin toxicus ‘racun’(poison). Asal kata itu berasal dari Yunani kuno toxikon, yang dipakai pada anak panah yang diselupkan pada bahan beracun. Toksikologi, dengan demikian, berhubungan dengan toxikos ‘busur’ dan toxikon ‘celupan anak panah’, dua kata Latin yang dipergunakan pada masa silam ketika anak panah yang dipakai untuk berperang mengandung racun (Klaassen, 2008).

Sebagai sebuah ilmu, toksikologi terus berkembang tidak hanya berfokus pada pengetahuan dan penggunaan pelbagai bahan-bahan racun (Klaassen, 2008). Secara umum TOKSIKOLOGI kini 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, yang meliputi aspek uji coba, koleksi data, dan evaluasi
2. Effects, yang berupa efek yang tidak diinginkan baik efek yang nyata maupun yang samar
3. Agents, yang dapat berasal dari kimia sintesis ataupun alam
4. Living Organism, yang dapat berupa manusia, flora, dan fauna

Toksikologi juga didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari efek toksik xenobiotic (materi asing). Toksikologi industri merupakan salah satu cabang ilmu toksikologi yang diterapkan di industri, sebagai istilah yang banyak digunakan oleh negara-negara yang memperoleh pengetahuan dari Amerika. Ahli lainnya menyebutnya sebagai occupational toxicology atau toksikologi di tempat kerja (istilah ini umumnya digunakan oleh negara-negara yang memperoleh pengetahuan dari Inggris).

Toksikologi merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang amat luas penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan di tempat kerja. 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.

Toksikologi dalam perkembangannya berperan penting dalam menunjang berbagai subdisiplin ilmu lainnya. Pada awalnya dunia toksikologi berkembang seiring dengan perkembangan ilmu farmakologi. Kini toksikologi dapat berdiri sendiri sebagai suatu disiplin ilmu. Kedua disiplin ilmu tersebut sebenarnya memiliki kemiripan baik metode maupun tujuan keilmuan, antara lain mempelajari mekanisme perubahan suatu bahan kimia dalam sistem biologi.

Dalam dunia farmakologi, hubungan dosis- respons suatu bahan kimia dipelajari untuk mendapatkan berapa dosis terendah yang dapat menghasilkan efek terapi yang diharapkan. Dunia toksikologi mempelajari dosis suatu bahan kimia untuk mendapatkan berapa dosis terendah (serendah apa pun) yang tidak memberikan efek farmakologis dari dosis yang dapat menyebabkan timbulnya efek racun. Terdapat pelbagai definisi tentang toksikologi, salah satunya adalah 'the study of the potential of substances to cause harm to a biological system' atau 'ilmu yang mempelajari potensi bahaya suatu bahan pada sistem

biologis' (Williams & Burson, eds., 1989). Definisi tersebut menunjukkan bahwa secara keilmuan toksikologi mempelajari potensi bahaya suatu bahan (tidak hanya bahan kimia) dan efeknya terhadap sistem biologis.

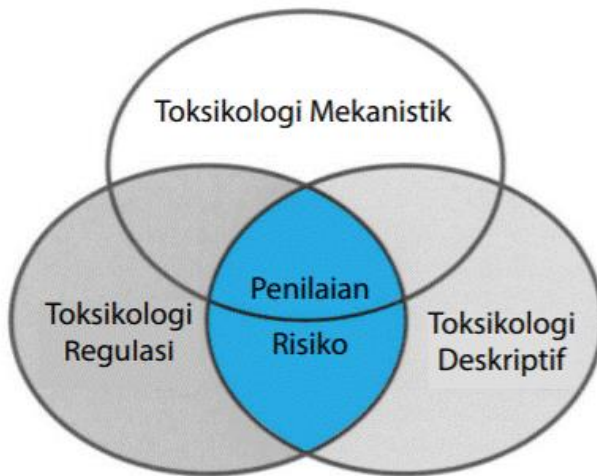
B. Ruang Lingkup Ilmu Toksikologi

Ruang lingkup toksikologi pada awalnya didasari oleh tiga bidang, yaitu toksikologi deskriptif, toksikologi mekanistik, dan toksikologi regulatori (Gambar 1.3). Dalam perkembangannya, ketiga bidang dasar ini kemudian yang mendasari pemanfaatan data toksikologi untuk kajian risiko (risk assessment) dan ditunjang oleh toksikologi informatika. Dua bidang kajian pertama menyajikan informasi tentang mekanisme toksisitas dan efek yang ditimbulkan oleh toksikan, sementara tiga berikutnya memanfaatkan dan mengevaluasi informasi yang disajikan untuk kepentingan penggunaan dan pengendalian toksikan.

1. Toksikologi Deskriptif mengkaji efek toksik bahan kimia dalam ruang lingkup dosis atau pajanan yang umumnya dilakukan dengan uji toksisitas, mencakup protokol uji toksistas akut, subakut, atau kronik. Hasil studinya merupakan data toksisitas. Data toksisitas yang dihasilkan dapat digunakan untuk evaluasi keselamatan toksikan, sebagai komponen kunci untuk penilaian risiko yang digunakan oleh toksikologi regulatori dalam penetapan peraturan dan berkontribusi dalam pengembangan toksikologi mekanistik melalui pengembangan hipotesis.
2. Toksikologi Mekanistik, atau disebut juga Toksikologi Biokimia, mengkaji mekanisme terjadinya efek toksik di dalam tubuh organisme hidup, yaitu mekanisme terjadinya reaksi atau perubahan selular, biokimia,

dan/atau molekular di dalam sistem biologis yang diakibatkan oleh toksikan. Toksikologi mekanistik sangat berguna dalam penilaian risiko kesehatan.

3. Toksikologi Regulatori mengkaji data yang dikumpulkan dari toksikologi deskriptif, toksikologi mekanistik, dan hasil penelitian lainnya untuk mengambil keputusan tentang penggunaannya serta menentukan batas aman penggunaannya, walaupun dalam penetapannya melibatkan faktor sosial, ekonomi, dan faktor lainnya. Contohnya adalah penetapan nilai ambang batas suatu bahan kimia.
4. Toksikologi Informatika, bidang kajiannya adalah mengumpulkan, mengompilasi, dan menyebarluaskan informasi toksikologi, termasuk menganalisis, menginterpretasikan, dan membuat simpulan dari data yang didapat, seperti yang dicantumkan dalam lembar keselamatan material atau yang dikenal sebagai Material Safety Data Sheet (MSDS).
5. Penilaian Risiko mengkaji besar risiko terjadinya dampak pada populasi yang terpajan toksikan dengan menggunakan hasil studi deskriptif dan mekanistik tentang toksikan, dihubungkan dengan tingkat paparan toksikan.



Gambar 11.1 Tiga Bidang Dasar dalam Toksikologi dan Kaitannya dalam Kajian Risiko
(Sumber: Klaassen, 2008)

C. Tujuan Ilmu Toksikologi

Tujuan toksikologi adalah mengenal dan mengkaji mekanisme efek toksik bahan kimia terhadap makhluk hidup agar manusia dapat menggunakan dan hidup berdampingan dengan toksikan tanpa menimbulkan efek yang merugikan seperti gangguan kesehatan atau rusaknya lingkungan hidup. Untuk mencapai tujuan tersebut, lingkup kajian toksikologi mencakup:

1. Mengetahui, memahami, dan mendefinisikan toksisitas intrinsik dari bahan kimia;
2. Menilai risiko dan mengevaluasi dampak dari bahan kimia;
3. Mengidentifikasi sistem atau organ target/kritis yang dipengaruhi bahan kimia.

Toksikologi sangat bermanfaat untuk memprediksi atau mengkaji akibat yang berkaitan dengan bahaya toksik pada manusia dan lingkungannya. Toksikologi merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang amat luas penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan di tempat kerja. 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 ilmu 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, 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. Dalam dunia toksikologi, dikenal berbagai macam istilah yang sering digunakan. Istilah-istilah (terminologi) tersebut antara lain:

1. Xenobiotika, yaitu istilah umum yang digunakan untuk menyatakan zat asing yang masuk ke dalam tubuh. Xenobiotika dapat memberikan berbagai keuntungan, seperti obat-obatan) atau dapat bersifat racun (seperti timbal).
2. Toksikan, yaitu segala jenis bahan yang dapat memberikan efek yang berlawanan (merugikan). Zat toksik dapat berada dalam bentuk fisik (seperti radiasi), kimiawi (seperti sianida), ataupun biologis (bisa ular).

3. Toksin, yaitu toksikan yang berupa protein spesifik yang dihasilkan secara alamiah oleh makhluk hidup, contohnya Tetanus, yang disebabkan toksin yang dieksresikan oleh bakteri *Clostridium tetani*.
4. Toksisitas (toxicity), yaitu kapasitas intrinsik dari suatu toksikan yang dapat menimbulkan efek bagi organisme.
5. Bahaya (hazards), yaitu potensi terealisasinya toksisitas suatu agen pada situasi tertentu.
6. Risiko (risk), yaitu kemungkinan terealisasinya suatu bahaya (hazard).
7. Safety, yaitu kemungkinan tidak terealisasinya suatu bahaya (kebalikan dari risiko).
8. Dosis, yaitu unit yang menyatakan paparan terhadap bahan kimia, fisik, atau biologis yang sampai ke organ sasaran. Dosis diekspresikan sebagai unit berat atau volume per unit luas permukaan tubuh. Misalnya mg/kgBB, ml/kgBB, atau mg/m², ppm, atau ppb.

D. Sejarah Ilmu Toksikologi

Pada awal abad ke-20 keselamatan dan kesehatan kerja sudah mulai mendapat perhatian. Terkait dengan hal tersebut, diberlakukan larangan penggunaan fosfor putih dan timah putih di tempat kerja. Pada pertengahan abad ke-20 toksikologi sudah dipergunakan untuk mengamankan produk industri, pemenuhan aspek medikolegal, dan untuk pemantauan lingkungan kerja maupun pemantauan biologik pekerja. Tahun 1946 Aurbach mengemukakan teori mutasi somatis (“Somatische Mutation”) mengenai hubungan interaksi kimia dengan terjadinya mutagen.

Toksikologi dalam perkembangannya berperan penting dalam menunjang berbagai subdisiplin ilmu lainnya. Pada

awalnya dunia toksikologi berkembang seiring dengan perkembangan ilmu farmakologi. Kini, toksikologi dapat berdiri sendiri sebagai suatu disiplin ilmu. Kedua disiplin ilmu tersebut sebenarnya memiliki kemiripan baik metode maupun tujuan keilmuan, antara lain mempelajari mekanisme perubahan suatu bahan kimia dalam sistem biologi. Dalam dunia farmakologi, hubungan dosis-respons suatu bahan kimia dipelajari untuk mendapatkan berapa dosis terendah yang dapat menghasilkan efek terapi yang diharapkan.

Sementara itu, dunia toksikologi mempelajari dosis suatu bahan kimia untuk mendapatkan berapa dosis terendah (serendah apa pun) yang tidak memberikan efek farmakologis dari dosis yang dapat menyebabkan timbulnya efek racun. Beberapa tonggak sejarah yang patut dicatat, mulai dari zaman prasejarah, Abad Pertengahan, sebelum dan sesudah Revolusi Industri, sampai dengan sekarang antara lain seperti berikut.

1. Papyrus Eber mungkin menulis rekaman medis (medical record) yang pertama (1500 SM), berisi sekitar 800 informasi mengenai racun, misalnya opium (racun pada anak panah China purbakala) dan racun tumbuh-tumbuhan lainnya.
2. Hippocrates (400 SM) menulis dasar-dasar yang sederhana tentang toksikologi.
3. Theophrastus (370–286 SM), seorang murid Aristoteles, mencantumkan banyak sekali rujukan tentang tumbuh-tumbuhan beracun dalam *De Historia Plantarum*.
4. Mithridates VI (131–63 SM) mempelajari cara pencegahan dan penanggulangan keracunan secara sistematis. Ia menggunakan dirinya dan tawanan

sebagai kelinci percobaan untuk menguji racun dan antidotnya dengan cara mengonsumsi racun dan campuran racun lain yang diyakini dapat berfungsi sebagai penawar racun untuk melindungi dirinya (mithridatic), namun ia meninggal dalam usia muda karena keracunan.

5. Dioscorides, seorang ahli fisika dari Yunani pada zaman Kekaisaran Nero membuat penggolongan racun beserta uraian dan gambarannya.
6. Catherine De Medici pada Abad Pertengahan mencoba mencampurkan senyawa toksik, mencatat efek yang terjadi pada tubuh terhadap dosis yang diberikan, dan mengamati tingkat keracunan/toksisitas serta keluhan dan gejala yang timbul pada penderita.
7. Moses bin Maimon atau Maimonides (1135–1204) menulis buku tentang racun dan antidotumnya. Buku ini berisi petunjuk pertolongan pertama pada keracunan, baik yang disengaja maupun tidak, seperti keracunan akibat gigitan serangga, ular, dan anjing gila.
8. Pada akhir Abad Pertengahan, orang yang terkenal dalam ilmu dan kedokteran adalah P.A.T.B von Hohenheim-Paracelcus (1493–1541). Dia menyatakan bahwa “semua zat atau substansi adalah racun; tiada yang bukan racun. Dosis yang tepatlah yang membedakan racun dari obat”. Menurutnya, uji toksisitas sangat penting dalam mempelajari respons tubuh terhadap zat kimia untuk menjelaskan hubungan dosis-respons. Ia menulis buku yang berjudul *Bergsucht*, yang berisi penjelasan tentang gangguan kesehatan yang timbul akibat keracunan arsen kronik dan merkuri serta rincian serangan

asma dan gejala saluran pencernaan pada para pekerja tambang.

9. Mattieu Yoseph Bonaventura Orfila (1787–1853) adalah dokter pribadi Louis XVIII dari Prancis dan merupakan salah satu dari pimpinan Universitas Paris. Orfila adalah orang pertama yang berusaha menghubungkan secara sistematis antara informasi kimia dan efek biologis dari suatu racun. Orfila juga mengajukan hubungan antara ilmu kimia dan ilmu hukum, Karya besarnya telah menghasilkan bahan otopsi yang digunakan untuk membuktikan penyebab keracunan, baik keracunan akibat kecelakaan maupun keracunan yang disengaja.
10. Calude Bernard (1813–1878) berpandangan bahwa analisis fisiologis dari sistem organik dapat dilaksanakan dengan bantuan agen-agen toksik.
11. Louis Lewin (1854–1929) menghasilkan literatur tentang toksikologi metil alkohol, etil alkohol, dan jenis alkohol lain, kloroform, penggunaan opiat kronik dan bahan halusinogen yang dikandung dalam tumbuh-tumbuhan. Di antara penerbitannya adalah *A Toxicologist's View of World History, A Text book of Toxicology*.
12. Pada abad ke-20 toksikologi berkembang sangat cepat. Di antaranya adalah perkembangan oleh Rudolf Peter, dkk. (1945) mengenai dimerkaprol sebagai satu antidotum arsen yang dikandung gas-gas perang. Selanjutnya adalah penemuan dan pemahaman DDT oleh Paul Muller dan penemuan senyawa insektisida organofosfat oleh Willy Lange dan Germard Schrader.

Saat ini toksikologi mulai digunakan sebagai evaluasi keselamatan (safety evaluation) dan kajian risiko risk assessment. Sejarah perkembangan toksikologi lebih detail disajikan pada Tabel dibawah ini:

Tokoh/Institusi/Momentum	Tahun	Perkembangan
<i>Perkembangan Awal</i>		
Paracelsus	1492–1541	Toksikologi mulai
Agricola	1494–1515	dicetuskan
Bernardino Ramazzini	1633–1714	Toksikologi di tempat
Magendie	1783–1855	Toksikologi
Orfila	1787–1853	eksperimental
Bernard	1813–1878	

Tokoh/Institusi/Momentum	Tahun	Perkembangan
<i>Era Toksikologi Modern</i>		
Becquerel dan Curie	1890–1900	Toksisitas bahan
Hawk dan Oser	Perang Dunia II	Bioassay
Mueller	1920	Pestisida dan
Dodd's	1920	Estrogen
Lehman dan Geiling	1930	Bencana
Stafford Warren	Perang Dunia II	Toksikologi sistem pernapasan (<i>Inhalation Toxicology</i>)

Tokoh/Institusi/Momentum	Tahun	Perkembangan
Willy Lange dan Gerhard Schrader	Perang Dunia II	Inhibitor kolinesterase organofosfat (<i>organophosphate cholinesterase inhibitor</i>) dan neurotoksikologi
Elizabeth dan James Miller	1940	Karsinogenesis dan model kajian risiko (<i>risk assessment model</i>)
Lehman dan Fitzhugh Oser	1950	Mulainya eksperimen untuk bahan makanan, obat, dan kosmetik di Amerika Mulainya konferensi bidang toksikologi
Adrian Albert	1951	Toksisitas selektif (<i>site-specific action</i>) bahan kimia
Delaney Clause	1958	Karsinogenesis
Lehman dan Hayes	1955 atau 1958	Diterbitkannya <i>Toxicology and Applied Pharmacology Journal</i>
McArdle Lab	1957	TCDD

Tokoh/Institusi/Momentum	Tahun	Perkembangan
NTCR (National Center for Toxicologic Research)	1960	Peraturan dan legislasi (<i>regulatory and legislation</i>)
Rachel Carson	1962	<i>Silent Spring</i> — Insiden Thalidomide— ribuan bayi dilahirkan cacat
Love Canal	1970	<i>Hazardous waste</i> dan <i>chemical dump sites</i>
Ames	1983	Mekanisme genetik dan karsinogenisitas

E. Berbagai Cabang Ilmu Toksikologi

Saat ini toksikologi juga sudah berkembang menjadi integrasi dari berbagai bidang keilmuan, antara lain ilmu kedokteran, farmasi, biologi, kimia, fisika, matematika, statistik, komputer (modelling), biologi molekuler, kesehatan masyarakat, keselamatan dan kesehatan kerja, ilmu lingkungan, makanan, dan kosmetik. Dari perkembangannya muncul bidang yang sangat spesifik dalam toksikologi.

Di lapangan, pembagian toksikologi berdasarkan aplikasinya di berbagai sektor dunia kerja dan dunia usaha antara lain adalah seperti berikut

1. Toksikologi Industri atau Toksikologi Okupasi, yang mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan toksikologi pada pekerja yang terpajan;
2. Toksikologi Klinik, yang mempelajari efek toksikan

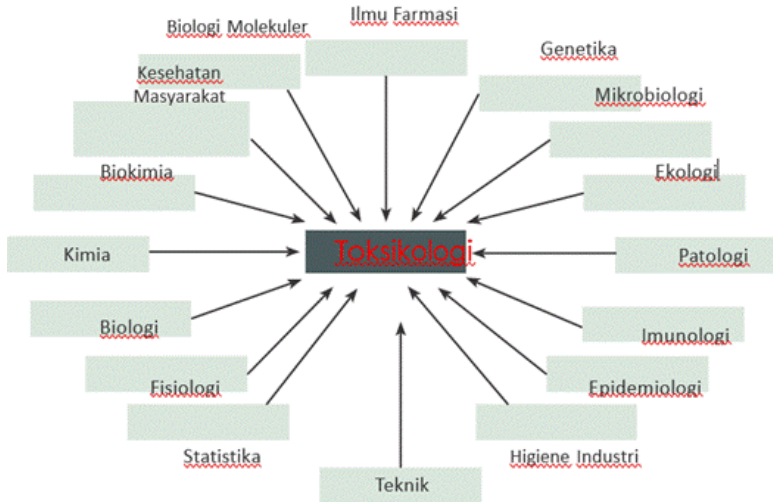
- pada organ spesifik dan kesehatan pada umumnya serta pengelolaannya;
3. Toksikologi Forensik, yang mempelajari segala teknik analitis dan keterampilan untuk kepentingan medikolegal;
 4. Toksikologi Pertanian, yang mempelajari toksikan yang ada pada bidang pertanian, seperti pestisida dan pupuk;
 5. Toksikologi Lingkungan, yang mempelajari “nasib” toksikan di lingkungan serta dampaknya pada ekosistem dan manusia.

Tabel 11.1 Diversifikasi dalam Bidang Toksikologi

Bidang	Fokus
Toksikologi okupasi (<i>occupational toxicology</i>)	Toksikologi di tempat kerja
Toksikologi lingkungan (<i>environmental toxicology</i>)	Toksikologi lingkungan
Toksikologi analitis/forensik (<i>analytic/</i>	Toksikologi analitis dan forensik
<i>ecotoxicology</i>)	Toksikologi di lingkungan biota
Toksikologi pernapasan (<i>inhalation toxicology</i>)	Toksikologi pada sistem pernapasan
Neurotoksikologi	Toksikologi sistem saraf
Toksikologi kimia (<i>chemical</i>)	Toksikologi bahan-bahan kimia
Toksikologi klinik (<i>clinical</i>)	Toksikologi di bidang klinik
Toksikologi makanan (<i>food</i>)	Toksikologi bahan pangan
Toksikologi regulatori (<i>regulatory toxicology</i>)	Toksikologi dalam bidang peraturan
Toksikologi <i>in vitro</i> (<i>in vitro</i>)	Toksikologi <i>in vitro</i> (di luar

Bidang	Fokus
Toksikologi kebakaran (<i>combustion toxicology</i>)	Toksikologi dalam bidang kebakaran
Toksikologi genetik (<i>genetic</i>)	Toksikologi genetik
Toksikologi kosmetik (<i>cosmetic toxicology</i>)	Toksikologi bahan kosmetik
Toksikologi deskriptif (<i>descriptive toxicology</i>)	Toksikologi yang menjelaskan efek toksik
Toksikologi mekanistik (<i>mechanistic toxicology</i>)	Toksikologi mekanisme
Toksikologi reproduktif (<i>reproductive toxicology</i>)	Toksikologi sistem reproduksi
Toksikologi obat (<i>drug</i>)	Toksikologi farmasi
Toksikologi pestisida (<i>pesticide toxicology</i>)	Toksikologi pestisida
Toksikologi okuler (<i>ocular</i>)	Toksikologi sistem penglihatan
Toksikologi renal (<i>renal</i>)	Toksikologi yang memengaruhi
Hepatotoksikologi	Toksikologi yang memengaruhi

Toksikologi tidak dapat terpisahkan dari ilmu lainnya yang menunjang implementasi dari toksikologi itu sendiri. Di antara ilmu yang menunjang penerapan toksikologi adalah higiene industri, epidemiologi, kimia, biologi, patologi, biologi molekuler, ilmu kesehatan masyarakat, statistik, dan lain-lain.



Gambar 11.2 Ilmu yang Menunjang Toksikologi

Sumber: <http://toxicology.usu.edu/660/html/history.htm>

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa Salsabila, I. L. (2020). *Pengantar Hidrologi*. Bandar Lampung: Aura Publishing.
- Arif Zulkifli, *Dasar-dasar Ilmu Lingkungan*, Salemba Teknika, Jakarta, 2014.
- Arsyad, S. (2008). *Penyelamatan Air, Tanah dan Lingkungan*. Jakarta, Bogor: Yayasan Obor Indonesia dan Cressprent Press.
- Artikel lingkungan hidup. <https://lingkunganhidup.co/pengertian-pencemaran-tanah-penyebab-akibat-solusi/https://lingkunganhidup.co/category/pencemaran/>.
- Asdak, C. (2014). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Asmadi, Khayan dan Kasjono, H.S. 2011. *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Yogyakarta: Gosyen publisihing.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2021. *Kualitas Udara* . <https://www.bmkg.go.id/>. Diakses pada bulan Oktober 2021.
- Bapedal. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2002. Analisis kualitas air dan limbah cair.
- Baver, L. D. 1972. *Soil Physics*. Fourth Edition. Jhon Willey and Sons, Inc. New York.
- Chaney, R.L. Brown, S.L., dan Angle, J.S. 1998. Soil-root interface: Food chain contamination and ecosystem health. Di dalam: Huang M. dkk. (ed). Madison W.I. Soil Science Social 3:9-11.
- Clair N. Sawyer, P. L. (2003). *Chemistry for environmental engineering and science*. New York: McGraw-Hill

Companies.

- Damanik, M. M. B., B. E. Hasibuan., Fauzi., Sarifuddin da H. Hanum. 2010. *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Dantje T. Sembel.2015. *Toksikologi Lingkungan*. Penerbit Andi Yogyakarta
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Penerbit Universitas Indonesia
- Dasar-Dasar dan Pengelolaan*. Prenadamedia Group. Jakarta
- Department of Agriculture Water and Environment. (2021). *Air pollutants*. Australian Government. <https://www.environment.gov.au/protection/air-quality/air-pollutants>
- Dewata, I dan Tarmizi. 2015. *Kimia Lingkungan Polusi Air, Udara dan Tanah*. UNP Press.
- Dewata, I. & Tarmizi. 2015. *Kimia Lingkungan*. UNP Press : Padang
- Dewata, Indang dan Tarmizi. 2015. *Kimia Lingkungan*. Padang: UNP Press.
- Dikti. 1991. *Kesuburan Tanah*. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.
- Djajadiningrat,2001, *Pemikiran Tantangan dan Permasalahn Lingkungan, Aksara Buana,Bandung*.
- Donahue, R. L. 1977. *Soils an Introduction to Soils and Plant Growth*. Fourth Edition Prentice
- Dr. Rukaesih achmad. 2004. *Kimia Lingkungan*. Penerbit Andi Yogyakarta
- Edi Haryanto. 2004. *WorkshopWashe management in Refinery and Improvement of Enviroment in Refinery – Metode Penanganan Produksi Bersih Di Lingkungan*

Industri Migas, Pusdiklat Migas Cepu, Yogyakarta.

- Effendi, H. (2003). *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Yogyakarta: PT Kanisius.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta. Penerbit Kanisius.
- Endang Saptiningsih. 2007. Peningkatan Produktivitas Tanah Pasir untuk Pertumbuhan Tanaman Kedelai dengan Inokulasi Mikorhiza dan Rhizobium. *BIOMA*. Vol. 9, No. 2, Hal. 58 – 61. ISSN: 1410-8801
- Fadlilah, I., Prasetya, A., & Mulyono, P. (2018). Recovery Ion Hg^{2+} dari Limbah Cair Industri Penambangan Emas Rakyat dengan Metode Presipitasi Sulfida dan Hidroksida. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 23. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.34496>
- Faisal, A., & Syarifudin, A. (2014). Dosis Optimum Larutan Kapur untuk Netralisasi pH Air. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(1), 184–189.
- Fajri, D. L. (2021). *10 Penyebab Polusi Udara di Indonesia*. Katadata. <https://www.beritasatu.com/kesehatan/29122/10-penyebab-polusi-udara-di-rumah>
- Hadi, Wahyono. 2012. *Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum*. Surabaya: ITS press.
- Hall, Inc. Englewood. Cliffs. New Jersey.
- Hanafiah, K. A. 2012. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta Hardjowigeno S. 2010. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Haridjaja O. 1980. *Pengantar Fisika Tanah*. Institut Pendidikan Latihan dan Penyuluhan Pertanian. IPB. Bogor.

- Harjadjowigeno, Sarwono, 2003, *Ilmu Tanah*, Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hastutiningrum, S. Sunarsih, S. & Imelda. 2018. Analisis Hubungan Aktivitas Kendaraan Bermotor Terhadap Konsentrasi SO₂ dan NO₂ di Udara Ambien (Studi Kasus: Jl. Panembahan Senopati Yogyakarta). *Jurnal Teknologi Technoscientia* Vol 11 No. 1 hal. 85-94.
- Hidayat, B. (2015) 'Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Menggunakan Biochar', *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(1), pp. 51-61.
- Indonesia, P. R. dan Nusantara, W. (1997) 'Undang Undang No. 23 Tahun 1997 Tentang: Pengelolaan Lingkungan Hidup', *Jakarta: Menteri Negara Sekretaris Negara Republik Indonesia*
- International Chemical Safety Card (ICSC).
<http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/>
- Irsanda, P. G. R. 2014. *Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Pelayaran, Kabupaten Sidoarjo Dengan Metode Wual2kw*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Islami. T dan W. H. Utomo. 1995. *Hubungan Tanah, Air dan Tanaman*. IKIP Semarang Press. Semarang.
- James, G. *Principles of Environmental Chemistry*. Jones & Bartlett Learning: Sudbury
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. (2003). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. *Jakarta: Menteri Negara Lingkungan Hidup*, 1-15. Retrieved from <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- Klaassen C.D. (2008). Casarett and Doull's Toxicology, The

Baasic Science of Poisons. 7th Edition. New York:Mc Graw-Hill.

Konsepri Produksi Bersih Dan Minimisasi Limbah, Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti

Kormondy, E.J.1969. *Concepts of Ecology*. Prentice-Hall Inc, New Jersey

Kristanto P. 2002. Ekologi industri. ANDI Yogyakarta. Yogyakarta.

Lagzi, I., Meszaros, R., Gelybo, G., & Leelossy, A. 2013. *Atmospheric Chemistry*. Lorand University: Hungaria

Luki, U. 2007. *Dasar-Dasar Fisika Tanah Pertanian Terapan I (Matrik Tanah) Teori dan Contoh-Contoh Soal*. Universitas Andalas . Padang.

Lutfi, A. 2004. Departemen Pendidikan Nasional. Kimia Lingkungan.

Mackenzie, J., & Turrentine, J. (2021). *Air Pollution Facts, Causes and the Effects of Pollutants in the Air*. Nrdc. <https://www.nrdc.org/stories/air-pollution-everything-you-need-know#causes%0Ahttps://www.nrdc.org/stories/air-pollution-everything-you-need-know>

Manahan, S. 2017. *Environmental Chemistry*. CRC Press: New York

Mansur. 2013. "Dampak Sosial Penggunaan Pestisida Bagi Petani Perspektif Sosiologi Pedesaan". Jurnal Kajian Ilmu-ilmu Komunikasi dan Bimbingan Islam. Volume 6, No.1, <http://ejournal.iainkendari.ac.id/al-munzir/article/view/233>.

Mara, D. (2004). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Earthscan, USA.

Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 *tentang Pedoman penetapan daya tampung beban pencemaran*

air pada sumber air.

- Muslimah .2015. “Dampak Pencemaran Tanah dan Langkah Pencegahan”. Agrisamudra Jurnal Penelitian. Volume 2, No.1,
<https://ejurnalunsam.id/index.php/jagris/article/view/224>.
- Mustafa, M., Asmita, A., M. Ansar, dan Masyhur, S. (2012) ‘Modul Pembelajaran Dasar-Dasar Ilmu Tanah’, Universitas Hasanuddin Makasar, 169.
- National Center for Environmental Health. (2021). *Air Pollutants*. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/air/pollutants.htm>
- National Geographic. (2021). *Air Pollution*. National Geographic.
<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/air-pollution/>
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH):
<http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html>
- NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazard.
<http://www.cdc.gov/niosh/npg/npg.html#printed>
- Notodarmojo, Suprihanto, 2005, Pencemaran Tanah & Air Tanah, ITB, Bandung.
- Notohadiprawiro T. 1999. *Tanah dan Lingkungan*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.
- NPS. (2018). Where Does Air Pollution Come From? In *National Park Service* (p. 1).
<https://www.nps.gov/subjects/air/sources.htm>
<https://www.blf.org.uk/support-for-you/air-pollution/where-does-it-come-from>
<https://www.nps.gov/subjects/air/sources.htm>

- Nurmayanti, D. & Purwoko, D. 2017. *Kimia Lingkungan*. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan, Kemenkes RI : Jakarta
- Nyoman, I. 2013. Bahan Kuliah Kesuburan Tanah dan Pemupukan. www.fp.unud.ac.id. SK Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No 02/MENKLH/1988
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA): <http://www.osha.gov/> Centre for Diseases Control (CDC): <http://www.cdc.gov>.
- P. Cheremisinoff, N. (2002). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann.
- Palar, Heryando. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. PT. Rineka Cipta : Jakarta.
- Peavy, H. S., Rowe, D. R., & Tchobanoglous, G. (1985). *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Pemerintah Republik Indonesia. (1997). Undang Undang Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Lembaran Negara Republik Indonesia* 1997, 1, 21. http://ciptakarya.pu.go.id/dok/hukum/uu/uu_23_1997.pdf
- Peraturan Pemerintah Nomor 150 Tahun 2000 tentang pencemaran Tanah.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan dan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 *tentang Pengelolaan dan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*.
- Prasetyo, B. H. dan Suriadikarta, D. A. (2006) 'Karakteristik,

Potensi, dan teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia', *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(2), pp. 39–46.

Presiden Republik Indonesia. (1999). Peraturan Pemerintah R.I Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. *Peraturan Pemerintah No. 41 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*, 18.

Prodjosantoso, A.K. & Tutik R. 2011. *Kimia Lingkungan*. Penerbit Kanisius: Yogyakarta

Purwoko, D dan Nurmayanti, D. 2017. Kemenkes RI. Kesehatan Lingkungan (Kimia Lingkungan)).

Pusdiklat migas,2003, Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001, Buklet,Cepu

Puspita, I., Ibrahim, L., & Hartono, D. (2016). Pengaruh Perilaku Masyarakat yang Bermukim di Kawasan Bantaran Sungai Karang Anyar Kota Tarakan (Influence of The Behavior of Citizens Residing in Riverbanks to The Decrease of Water Quality in The River of Karang). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(2), 249. <https://doi.org/10.22146/jml.18797>

Rahmawati, Deazy. 2011. Pengaruh Kegiatan Industri Terhadap Kualitas Air Sungai Diwak Di Bergas Kabupaten Semarang dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai. Semarang: Tesis Program Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.

Ratnani, R. D. (2008). Teknik Pengendalian Pencemaran Udara Yang Diakibatkan Oleh Partikel. *Momentum*, 4(2), 27–32.

Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS). <http://www/cdc.gov/niosh/rtecs/>.

Resosudarmo,R.S; K. Kartawinata; A. Soegiarto. 1992. *Pengantar ekologi*. Penerbit Remaja Rosdakarya bandung

- Rinkesh. (2021). *45+ Easy and Simple Ways To Stop Global Warming and Reduce Earth's Temperature*. Conserve Energy Future. <https://www.conserve-energy-future.com/stopglobalwarming.php>
- Saidi, A. 2006. *Fisika Tanah dan Lingkungan*. Fakultas Pertanian. Universitas Andalas. Padang
- Sarief S. 1985. *Ilmu Tanah Pertanian*. Pustaka Buana. Bandung
- Sarief S.1989. *Fisika Kimia Tanah Pertanian*. Pustaka Buana. Bandung 47
- Sastrawijaya, A, T. (2009). *Pencemaran Lingkungan*. Rineka Cipta.
- Sastrawijaya, Tresna, 1991, *Pencemaran Lingkungan*, Rineka Cipta.
- Sastrawijaya. A.T. 2009. *Pencemaran Lingkungan*. Rineka Cipta: Jakarta
- Sitomorang, Manihar, 2017, *Kimia Lingkungan*, PT Rajagrafindo Persada, Depok.
- Smit, R.L. 1974. *Ecology and Field Biology*. 2nd.ed. Harper & Row, Pub. New York
- Soegiman. 1982. *Ilmu Tanah*. Terjemahan dari Buckman, H. O dan Brady, N. C. *The Nature and Properties of soil*. Bharata Karya Aksara. Jakarta.
- Soemarwoto, O. 1991. *Ekologi dalam pembangunan berwawasan lingkungan*. Panitia Penghormatan Purnabakti Profesor Otto Sumarwoto
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. IPB Press. Bogor
- Stoker, H. S., & Seager, S. L. (1972). *Environmental Chemistry: Air and Water Pollution*. Foresman and Company, Illionis.
- Subandi, M. (2012). *Developing Islamic Economic Production*.

Sci., Tech. and Dev., 31 (4): 348-358.

Subandi, M. (2012a). The Effect of Fertilizers on the Growth and the Yield of Ramie (*Boehmeria nivea* L. Gaud). *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 2(2), pp. 126-135.

Sumber Informasi mengenai Toksikologi Produk-produk Komersial. <https://www.whatsinproducts.com>.

Suripin. (2004). *Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.

Susanti., Indah., Rosida., Laras, T., & Nani, C. 2014. Analisis Pengaruh Aerosol pada Awan di Indonesia (*Aerosol Impact on Cloud Over Indonesia*). *Jurnal Sains Dirgantara* Vol. 12 No.1 hal. 22-31. Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Atmosfer Lapan

Susanto, R. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Penerbit Kanisius: Yogyakarta.

Susilo, Y. Eko Budi. (2003). *Menuju keselarasan lingkungan : memahami sikap teologis manusia terhadap pencemaran lingkungan* (cet. 1). Malang: Averroes Press. Halaman 156.

Sutanto, R. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah Konsep dan Kenyataan*. Kanisius. Yogyakarta.

Sutrisno, Totok. 2010. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Rineka Cipta.

Suyasa, W. B. 2015. *Pencemaran Air dan Pengelolaan Air Limbah*. Bali: Udayana University press.

Teqoya. (2021). *Air Quality Day _ all you need to know about air pollution*. Teqoya. <https://www.teqoya.com/day-quality-air-pollution/>

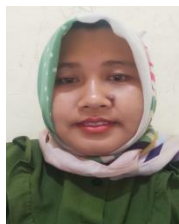
Treshow, M. 1989. *Plant Stress From Air Pollution*. John Wiley dan Sons Ltd. Britain Inggris. Halaman 113-157.

- Tresna sastrawijaya. 2009. *Pencemaaan lingkungan*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta
- UNEP,United Nations Enviromental Program,www.unep.org
- University of California. (2021). *Primary Vs. Secondary Pollutants*. UNIVERSITY OF CALIFORNIA. https://www.researchgate.net/profile/David_Gans/publication/40904893_Size_Matters_The_Impact_of_Physician_Practice_Size_on_Productivity/links/0f317533cca49e8d2f000000.pdf
- Untari, T., & Kusnadi, J. (2015). Pemanfaatan Air Hujan Sebagai Air Layak Konsumsi di Kota Malang Dengan Metode Modifikasi Filtrasi Sederhana *Utilization Rainwater As A Viable Water Consumption In The Malang City With A Simple Filtration Modification Method*. 3(4), 1492-1502.
- US EPA,US enviromental Program,www.epa.gov
- Utami, S. N. H. dan Handayani, S. (2003) 'Sifat Kimia Entisol pada Sistem Pertanian Organik Chemical Properties in Organic and Conventional Farming System', Ilmu Pertanian, 10(2), pp. 63-69.
- Utomo, M., Sudarsono., Bujang. R., Tengku. S., Jamalam. L, dan Wawan. 2016. *Ilmu Tanah*
- Wardhana, W.A., 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan, Andi Offset Yogyakarta, Jakarta.
- Williams, P., & Burson, J. (1985). *Industrial Toxicology*. Van Nostrand Reinhold, ed..New York.
- Winarno, G. D., Hatma, & Soejoko, S. A. (2010). Buku Ajar Hidrologi Hutan. In *Universitas Lampung, Bandar Lampung*.
- Winder C., & Stacey N. (2005). *Occupational Toxicology*. 2nd Edition. London: CRC Press.
- Yamani , A .2010. Kajian Tingkat Kesuburan Tanah Pada

Hutan Lindung Gunung Sebatung di Kabupaten Kota Baru Kalimantan Selatan. *Jurnal Hujan Tropis* 11(29): 32.

Yusuf, Y. 2017. *Kimia Lingkungan Berbasis masalah kekinian*. EduCenter Indonesia.

BIOGRAFI PENULIS



Baiq Inggar Linggarweni, SP.,M.Sc. lahir di Selong, 18 oktober 1986 bertempat tinggal di KotaMataram, Nusa Tenggara Barat. Penulis adalah dosen swasta di Universitas Islam Al-azhar Mataram sejak 2016. Pendidikan formal sarjana di selesaikan di Universitas Mataram (Unram) jurusan Hama dan Penyakit Tanaman dan S2 diselesaikan di jurusan Kimia Lingkungan Universitas Gadjah Mada.



Nurhajawarsi, S.Pd., M.Si. lahir di Sungguminasa, Sulawesi Selatan pada tanggal 09 September 1990 menyelesaikan pendidikan Sarjana Pendidikan Kimia lulusan Universitas Negeri Makassar tahun 2012. Penulis melanjutkan Strata 2 di Jurusan Kimia Institut Pertanian Bogor pada tahun 2013. Sejak tahun 2019 hingga saat ini, penulis merupakan salah satu tenaga pendidik di Program Studi Analisis Kimia Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng. Penulis merupakan anggota Masyarakat Nano Indonesia (MNI) sejak 2015 dan sejak tahun 2021 menjadi asesor kompetensi di bidang Analisis Kimia.



Mega Fia Lestari, S.Pd, M.Sc. merupakan anak tunggal dari pasangan Abdul Kadir Said dan Mahasumah. Lahir pada 11 Juli 1993 di Kab. Maros, Sulawesi Selatan. Pendidikan formal yang telah ditempuh adalah jenjang sarjana pada Program Studi Pendidikan

Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Makassar (2014) kemudian dilanjutkan jenjang magister pada Program Studi Ilmu Kimia, FMIPA, Universitas Gadjah Mada (2017) menggunakan beasiswa dari Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dengan raihan predikat *Cumlaude* pada tiap jenjang pendidikan. Sejak 2018 hingga saat ini, penulis aktif sebagai dosen di Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng yang merupakan salah satu sekolah vokasi di bawah naungan Kementerian Perindustrian yang berlokasi di Kab. Bantaeng, Sulawesi Selatan pada program studi Analisis Kimia. Matakuliah. Penulis tertarik dalam bidang riset yang berfokus pada bidang katalis, energi terbarukan, dan lingkungan. Buku ber-ISBN yang telah diterbitkan penulis adalah Biokimia Senyawa Utama dalam Metabolisme. Artikel ilmiah hasil penelitian penulis dapat diakses melalui ID SINTA 6715658, ID Google Scholar LfbcCEAAAAJ.



Dr. Lieza Corsita, S.T., M.T. Lahir di Jayapura, 30 November 1974 bertempat tinggal di kelurahan Hedam distrik Heram Kota Jayapura. Penulis adalah Dosen dan praktisi lingkungan dengan pengalaman mengajar lebih dari dua dekade di universitas Sains dan Teknologi Jayapura (USTJ) sejak tahun 1998 di Program studi Teknik Lingkungan S-1. Pendidikan formal sarjana ditempuh di Institut Teknologi Bandung, lulus tahun 1998 dan setahun kemudian melanjutkan magister teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan lulus ditahun 2002. Penulis mendapatkan Gelar Doktor ditempuh di Institut Teknologi Bandung tahun dan lulus di tahun 2015. Selama menjadi dosen, penulis banyak menerbitkan artikel dan publikasi

yang berkaitan dengan bidang ilmu Teknik Lingkungan yang berkaitan dengan penyediaan air bersih untuk air minum, pencemaran kualitas perairan, kajian limbah B3, teknologi tepat guna dan energi terbarukan.



Rosita Dwityaningsih, S.Si., M.Eng. Lahir 10 Maret 1984 di Surakarta. Saat ini bertugas sebagai dosen pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap. Penulis menempuh S1 pada Program Studi Kimia, Universitas Negeri Yogyakarta dan melanjutkan pendidikannya di Program Magister Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada. Beberapa mata kuliah yang pernah diampu oleh penulis adalah Kimia Umum dan Lingkungan 2, Kimia Analisis, Dasar-dasar Perancangan Proses, Pengelolaan Limbah Domestik dan Rumah Sakit, Bioremediasi dll. Buku ajar yang pernah dihasilkan adalah Buku Ajar Kimia Analisis Lingkungan yang diterbitkan oleh Penerbit Samudera Biru.



Juwairiah, S.Pd., M.Si. Lahir di Medan, 02 Juli 1990 bertempat tinggal di Helvetia Timur, Medan, Sumatera Utara. Penulis adalah dosen PNS di Politeknik Negeri Media Kreatif Kampus Medan sejak 2019. Pendidikan formal sarjana diselesaikan di Universitas Negeri Medan (UNIMED) Jurusan Pendidikan Kimia dan S2 diselesaikan di Universitas Sumatera Utara (USU) Jurusan Ilmu Kimia. Selama menjadi dosen penulis sudah menghasilkan satu buku bahan ajar berjudul Kimia Terapan, beberapa publikasi artikel yang berjudul Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Metode

Fitoremediasi Pada Kawasan Percetakan Di Kota Medan
Upaya Peningkatan Hasil Belajar Pada Materi Pokok Larutan
Penyangga Dengan Menggunakan Model Inkuiri Terbimbing
Berbasis Literasi Sains, dan Pengabdian Kepada Masyarakat
berjudul Sosialisasi Hand Hygiene Dan Pelatihan Pembuatan
Hand Sanitizer Daun Sirih (Piper Betle).



Halijah. S.Pd., M.Pd. Lahir di Bulukumba Tahun 1987 20 Juli 1987 bertempat tinggal di Jalan pendidikan No. 1 Desa bajiminasa Kecamatan Rilau Ale kabupaten Bulukumba Penulis adalah Dosen Tetap di Kampus Universitas Muhammadiyah Bulukumba .

Pendidikan formal sarjana diselesaikan di Universitas Negeri Alauddin Makassar (UIN Alauddin Makassar) Tahun 2010 pada Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas tarbiah dan Keguruan dan S2 diselesaikan di Universitas Negeri Makassar (UNM) Jurusan Ilmu Pendidikan Biologi. Selama menjadi dosen penulis sudah menghasilkan satu buku bahan ajar berjudul Biologi Umum, beberapa publikasi Jurnal yang berjudul Pengaruh Perbandingan Total Mikroba Kombucha dengan variasi jenis Teh dan Lama Fermentasi, Uji Efektivitas Anti Bakteri Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) Terhadap Bakteri (*Escherichia coli*)"



Dr. Herniwanti, S.Pd., Kim.M.S. lahir di Payakumbuh – Sumbar 20 Nopember 1974 adalah Dosen Tetap dengan Sertifikasi Kesehatan Lingkungan Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Hang Tuah Pekanbaru pada Prodi S2-Magister Kesehatan Masyarakat. Pendidikan ditempuh pertama kali pada

Diploma-3 Analis Kimia ditempuh di Politeknik ATIP Padang 1998, SI - FKIP Kimia di UT Jakarta 2006, Magister PSDAL di Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin 2008, Pendidikan S3 ditempuh di Universitas Brawijaya Malang pada Program Doktor Kajian Lingkungan dan Pembangunan 2014. Beliau banyak melakukan penelitian dan publikasi ilmiah di bidang Kesehatan Lingkungan. Pengalaman kerja Profesional selama 20 tahun (1999-2020) sebagai kepala Laboratorium Pengujian Batubara dan Lingkungan ITMG Group Kalimantan Selatan, Project Manager Environmental Monitoring Chevron Project Sumatera dan Laboratory Manager Australian Laboratory Services Indonesia Cabang Pekanbaru. Kontak Penulis di Email: herniwanti_h@yahoo.com., Website: <https://www.researchgate.net/profile/Herniwanti-Herniwanti>.

KIMIA LINGKUNGAN

Kimia lingkungan Merupakan studi ilmiah terhadap fenomena kimia dan biokimia yang terjadi di alam. Bidang ilmu ini dapat didefinisikan sebagai studi terhadap sumber, reaksi, transpor, efek, dan nasib zat kimia di lingkungan udara, tanah, dan air; serta efek aktivitas manusia terhadapnya. Kimia lingkungan adalah ilmu antardisiplin yang memasukkan ilmu kimia atmosfer, akuatik, dan tanah, dan juga sangat bergantung dengan kimia analitik, ilmu lingkungan, dan bidang-bidang ilmu lainnya.

Penulisan buku ini dilakukan secara bersama-sama dan merupakan hasil kolaborasi penulis dari kalangan akademisi dari berbagai instansi yang menuangkan tulisannya sesuai dengan bidang keilmuan. Dalam Buku Kimia Lingkungan ini dibahas tentang pengertian dan istilah-istilah yang sering ditemukan di dalam kimia lingkungan, sifat dan komposisi air, pencemaran air, pengolahan air minum dan pengolahan limbah cair, sifat dan komposisi atmosfer, pencemaran udara, pencemaran darat, dan toksikologi lingkungan. Pembahasan ditekankan pada hubungan senyawa kimia dengan pencemaran, terutama sumber pencemar, reaksi kimia, pengaruh terhadap lingkungan dan kesehatan, serta upaya menguranginya.



Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
Pondok Karisma Residence
Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

ISBN 978-623-5847-93-1 (PDF)

