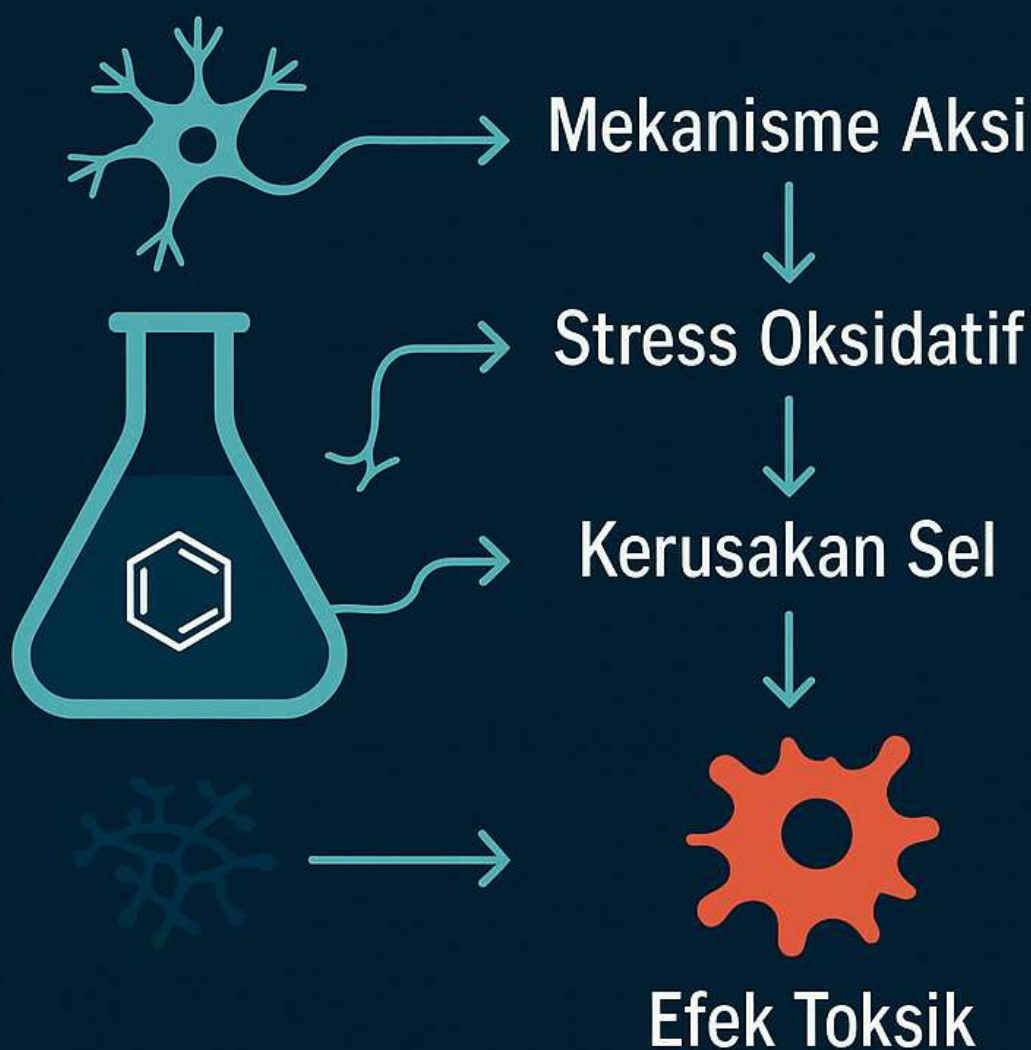


TOKSIKOLOGI

Obat dan Zat Kimia



Dr. apt. Priyanto, M.Biomed

Dr. apt. Hadi Sunaryo, M.Si

TOKSIKOLOGI OBAT DAN ZAT KIMIA

Penulis:

Dr. apt. Priyanto, M.Biomed

Dr. apt. Hadi Sunaryo, M.Si

Penerbit

LESKONFI

TOKSIKOLOGI OBAT DAN ZAT KIMIA

Penulis: Dr. apt. Priyanto, M.Biomed

Dr. apt. Hadi Sunaryo, M.Si

Hak Cipta, 2026 Ada Pada Penulis

Dilarang memperbanyak, mencetak, memberikan bentuk copy elektronik, dan menerbitkan sebagian atau seluruh isi buku ini, tanpa seizin Penulis dan Penerbit. Pembaca pasti paham bahwa untuk menulis buku ini perlu niat, usaha, pemikiran, dan modal yang tidak ringan.

**Diterbitkan Oleh: Lembaga Studi dan Konsultasi
Farmakologi (Leskonfi) Jl. H. Dimun I
Kav. BBM Asri B. 06 Sukmajaya Depok
Jabar**

TOKSIKOLOGI OBAT DAN ZAT KIMIA

xii + 380

No. ISBN: 978-634-96408-6-2 (PDF)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas tersusunnya buku **“Toksikologi Obat dan Zat Kimia”** ini. Buku ini disusun sebagai bagian dari upaya penguatan literatur kefarmasian, khususnya dalam bidang toksikologi, yang memiliki peran strategis dalam menjamin keamanan penggunaan obat dan bahan kimia di masyarakat.

Toksikologi merupakan cabang ilmu yang mempelajari efek merugikan zat kimia terhadap sistem biologis serta mekanisme yang mendasarinya. Dalam praktik kefarmasian modern, pemahaman toksikologi tidak dapat dipisahkan dari farmakologi, kimia farmasi, farmasi klinik, maupun regulasi obat dan bahan kimia. Seorang apoteker tidak hanya dituntut memahami efek terapeutik suatu obat, tetapi juga harus mampu menilai potensi risiko, mengenali tanda-tanda toksisitas, serta memberikan rekomendasi yang tepat untuk pencegahan maupun penanganan keracunan.

Perkembangan industri farmasi, kosmetik, pangan, dan bahan kimia yang sangat pesat menyebabkan masyarakat semakin sering terpapar berbagai senyawa kimia, baik secara disengaja maupun tidak disengaja. Kondisi ini menuntut adanya kemampuan analitis dan ilmiah dalam melakukan penilaian risiko (*risk assessment*), memahami hubungan dosis-respons, serta menerapkan prinsip-prinsip asas umum toksikologi dalam praktik.

Melalui buku ini, pembaca diajak untuk memahami konsep dasar hingga aplikasi toksikologi secara sistematis, mulai dari mekanisme aksi zat toksik, proses ADME, stres oksidatif, kerusakan sel, hingga implikasi klinis dan regulasinya. Buku ini dirancang dengan pendekatan yang ilmiah namun tetap komunikatif, sehingga mudah dipahami oleh mahasiswa farmasi maupun tenaga kesehatan lainnya.

Materi disajikan secara bertahap disertai contoh kasus dan soal latihan untuk memperkuat pemahaman konseptual dan aplikatif. Harapannya,

buku ini dapat menjadi jembatan antara teori toksikologi dasar dan penerapannya dalam dunia praktik kefarmasian serta pelayanan kesehatan.

Kami menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat kami harapkan demi penyempurnaan pada edisi berikutnya. Semoga buku ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kompetensi ilmiah dan profesionalisme apoteker, Nakes lain, dan Nadis, serta mendukung terciptanya sistem kesehatan yang aman, rasional, dan berkelanjutan.

Akhir kata, semoga buku ini bermanfaat bagi seluruh pembaca dan menjadi bagian dari ikhtiar bersama dalam memajukan ilmu farmasi di Indonesia.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR SINGKATAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Pengantar	1
B. Definisi Toksikologi	1
C. Ruang Lingkup Toksikologi	2
D. Cabang-cabang Ilmu Toksikologi	3
E. Perkembangan dan Aplikasi Toksikologi di Indonesia	6
F. Hubungan Toksikologi dengan Ilmu Farmasi	7
G. Rangkuman	7
H. Soal Latihan	8
BAB II ASAS UMUM TOKSIKOLOGI	13
A. Pendahuluan	13
B. Kondisi Efek Toksik	16
C. Mekanisme Efek Toksik	19
D. Wujud Efek Toksik	24
E. Sifat Efek Toksik	27
F. Hubungan Antara Asas Umum Toksikologi	29
G. Soal Latihan	30
BAB III TOKSIKOKINETIK	34
A. Pengantar Toksikokinetik	34
B. Hubungan Toksikokinetik dan Toksikodinamik	37
C. Absorpsi	39
D. Distribusi	46
E. Metabolisme (Biotransformasi)	49
F. Ekskresi	53
G. Toksikokinetik Dan Toksisitas Selektif	55

H. Soal Latihan	59
BAB IV MEKANISME TOKSISITAS PADA TINGKAT SELULER	59
DAN MOLEKULER	63
A. Pendahuluan	64
B. Jalur Masuk dan Target Seluler Zat Toksik	66
C. Mekanisme Umum Toksisitas Seluler	69
D. Jenis Kematian Sel akibat Paparan Toksik	71
E. Mekanisme Pertahanan dan Detoksifikasi Seluler	73
F. Implikasi Klinis dan Farmasi	74
G. Rangkuman	75
H. Soal Latihan	77
BAB V MEKANISME EFEK TOKSIK	81
A. Prinsip Umum Mekanisme Efek Toksik	81
B. Spektrum Efek Toksik	82
C. Dampak Efek Toksik	83
D. Hubungan Dosis–Respon	85
E. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Toksisitas	91
F. Kinetika Sebagai Penentu Ketoksikan Sistemik	92
G. Efek Paparan Zat Campuran (Kombinasi)	93
H. Nanotoksikologi dan Emerging Contaminants	97
I. Rangkuman	101
J. Soal Latihan	102
BAB VI TOKSISITAS ORGAN-SPEKIFIK	107
A. Pendahuluan	107
B. Toksisitas Hati (Hepatotoksisitas)	107
C. Toksisitas Ginjal (Nefrotoksisitas)	107
D. Toksisitas Paru-paru (Pulmoner)	112
E. Toksisitas Sistem Saraf (Neurotoksisitas)	116
F. Toksisitas Sistem Reproduksi	119
	124

G. Interaksi Antar Organ dan Toksisitas Sistemik	128
H. Rangkuman	134
I. Soal Latihan	139
BAB VII PRINSIP PENILAIAN RISIKO TOKSIK	139
A. Pendahuluan	139
B. Konsep Dasar: “Hazard” vs “Risk”	141
C. Tujuan dan Ruang Lingkup Penilaian Risiko	144
D. Tahapan Penilaian Risiko Toksik	148
E. Manajemen Risiko dan Komunikasi Risiko	151
F. Pendekatan Kuantitatif dan Kualitatif	155
G. Aplikasi Penilaian Risiko dalam Kefarmasian	158
H. Studi Kasus	160
I. Soal Latihan	165
BAB VIII TOKSIKOLOGI OBAT	165
A. Pendahuluan	165
B. Efek Samping Obat	166
C. Overdosis Obat	167
D. Idiosinkrasi	169
E. Interaksi Obat	172
F. Mekanisme Teratogenik	175
G. Rangkuman	176
H. Soal Latihan	
BAB IX TOKSIKOLOGI KLINIK	181
A. Pendahuluan	181
B. Konsep Dasar Toksikologi Klinik	182
C. Klasifikasi Kasus Keracunan	184
D. Prinsip Umum Penatalaksanaan Keracunan	189
E. Antidotum dan Obat Penawar	193
F. Toksisitas Obat dan Interaksi Obat dalam Praktik Klinik	198

G. Studi Kasus dan Diskusi Klinis	202
H. Soal Latihan	207
BAB X TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN DAN INDUSTRI	211
A. Pendahuluan	211
B. Pengertian dan Ruang Lingkup	211
C. Paparan Bahan Kimia di Lingkungan dan Industri	212
D. Logam Berat (Pb, Hg, Cd, As)	213
E. Pelarut Organik	217
F. Pestisida	220
G. Polutan Udara	223
H. Zat Radioaktif dan Polutan Gas	224
I. Emerging Contaminants	227
J. Soal Latihan	232
BAB XI TOKSIKOLOGI FORENSIK	237
A. Pendahuluan	237
B. Jenis Kasus dalam Toksikologi Forensik	238
C. Jenis Zat Toksik yang Umum dalam Toksikologi Forensik	240
D. Matriks Biologis dalam Analisis Toksikologi Forensik	243
E. Metode Analisis dalam Toksikologi Forensik	246
F. FK dan FD dalam Konteks Forensik	249
G. Interpretasi dan Pelaporan Toksikologi Forensik	252
H. Studi Kasus Klinis dan Forensik	254
I. Peran Toksikologi Forensik dalam Pelayanan Kesehatan	258
J. Rangkuman	261
K. Soal Latihan	263
BAB XII TERAPI KERACUNAN & ANTIDOTUM	267
A. Pendahuluan	267
B. Stabilisasi (ABC Toksikologi)	268
C. Mengurangi Absorpsi Racun	271
D. Meningkatkan Eliminasi Racun	275

E. Antidotum: Konsep dan Mekanisme	279
F. Antidotum Spesifik Berdasarkan Jenis Racun	284
G. Contoh Singkat Penanganan Keracunan Umum	289
H. Toxidrome (Toxic Syndrome)	293
I. Soal Latihan	298
BAB XIII UJI TOKSISITAS UMUM	303
A. Pendahuluan	303
B. Perbedaan Toksisitas Umum dan Toksisitas Khusus	307
C. Prinsip Dasar Uji Toksisitas Umum	310
D. Penentuan Dosis, Limit Test, dan Klasifikasi Toksisitas	314
E. Uji Toksisitas Akut	316
F. Uji Toksisitas Subakut (28 Hari)	321
G. Uji Toksisitas Subkronis (90 Hari)	324
H. Uji Toksisitas Kronis	327
I. Pemeriksaan Hematologi, Biokimia, dan Histopatologi	330
J. Keterbatasan Uji Toksisitas Umum	333
K. Soal Latihan	335
BAB XIV UJI TOKSISITAS KHUSUS	341
A. Pendahuluan	341
B. Uji Reproduksi, Perkembangan, dan Teratogenesis	342
C. Uji Mutagenisitas dan Genotoksisitas	345
D. Uji Karsinogenesis	350
E. Uji Toksisitas Organ-Spesifik	354
F. Uji Imunotoksisitas & Alergi Kontak	359
G. Uji Paparan Lokal (Kulit & Mata)	364
H. Toksisitas: Nanomaterial, PFAS, dan Microplastics	368
I. Soal Latihan	374
DAFTAR PUSTAKA	379

DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

AChE	: Acetylcholinesterase – Enzim yang menghidrolisis asetilkolin.
ADH	: Alcohol Dehydrogenase – Enzim metabolisme alkohol.
ADI	: Acceptable Daily Intake – Asupan harian yang dapat diterima.
ADME	: Absorption, Distribution, Metabolism, and Excretion.
ALT	: Alanine Aminotransferase – Penanda fungsi hati.
AST	: Aspartate Aminotransferase – Penanda fungsi hati.
BPOM	: Badan Pengawas Obat dan Makanan.
BUN	: Blood Urea Nitrogen – Nitrogen urea darah.
CAT	: Catalase – Enzim antioksidan.
CNS	: Central Nervous System – Sistem Saraf Pusat.
CYP	: Cytochrome (P450) – Enzim metabolisme obat fase I.
Cr	: Creatinine – Penanda fungsi ginjal.
DNA	: Deoxyribonucleic Acid – Asam deoksiribonukleat.
EC₅₀	: Effective Concentration 50% – Konsentrasi efektif 50%.
EFSA	: European Food Safety Authority.
EPA	: Environmental Protection Agency.
GLP	: Good Laboratory Practice.
GSH	: Glutathione – Antioksidan endogen.
IC₅₀	: Inhibitory Concentration 50%.
KLHK	: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
LC₅₀	: Lethal Concentration 50%.
LD₅₀	: Lethal Dose 50%.
LOAEL	: Lowest Observed Adverse Effect Level.
MDA	: Malondialdehyde – Penanda stres oksidatif.
MOS	: Margin of Safety.
NOAEL	: No Observed Adverse Effect Level.

PBPK	: Physiologically Based Pharmacokinetic.
ROS	: Reactive Oxygen Species.
SOD	: Superoxide Dismutase.
WHO	: World Health Organization.
in vitro	: Penelitian di luar organisme hidup (kultur sel).
in vivo	: Penelitian pada organisme hidup.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Pengantar

Toksikologi merupakan salah satu cabang ilmu dalam rumpun ilmu farmasi yang mempelajari efek merugikan dari bahan kimia terhadap sistem biologis, serta mekanisme terjadinya efek tersebut. Ilmu ini sangat penting bagi seorang apoteker karena berkaitan langsung dengan keselamatan pasien dan masyarakat, baik dalam penggunaan obat, bahan kimia rumah tangga, bahan tambahan pangan, maupun produk industri yang lain.

Perkembangan pesat industri farmasi, kosmetik, pangan, dan bahan kimia menyebabkan manusia semakin sering terpapar berbagai senyawa kimia, baik secara sengaja maupun tidak. Oleh karena itu, pemahaman mengenai toksikologi diperlukan untuk menilai risiko paparan bahan kimia tersebut, menentukan batas aman penggunaannya, serta melakukan upaya pencegahan dan penanggulangan bila terjadi keracunan baik disengaja atau kecelakaan.

Bagi mahasiswa farmasi, toksikologi menjadi jembatan antara farmakologi, kimia farmasi, dan farmasi klinik. Bila farmakologi membahas efek terapeutik obat, maka toksikologi menelaah efek merugikan yang timbul akibat penggunaan obat atau bahan kimia dalam dosis, durasi, atau cara pemberian yang tidak tepat. Apoteker diharapkan mampu mengenali tanda-tanda toksisitas, memahami mekanisme biokimia yang mendasarinya, serta memberikan rekomendasi terapi atau pencegahan yang sesuai.

B. Definisi Toksikologi

Secara etimologis, kata toksikologi berasal dari bahasa Yunani: *toxikon* berarti racun (zat toksik), dan *logos* berarti ilmu. Dengan demikian, toksikologi berarti ilmu yang mempelajari tentang racun. Namun dalam konteks modern, racun tidak selalu berarti zat yang bersifat mematikan

(merugikan), melainkan semua bahan kimia yang dapat menimbulkan potensi efek merugikan terhadap organisme hidup.

Paracelsus (1493–1541), tokoh yang disebut sebagai “Bapak Toksikologi Modern”, “*Sola dosis facit venenum*”—hanya dosis yang membuat sesuatu menjadi racun. Prinsip ini menunjukkan bahwa hampir semua zat dapat menjadi racun jika dikonsumsi dalam jumlah berlebihan, bahkan air dan oksigen sekalipun. Jadi, yang menyebabkan sesuatu itu racun atau bukan adalah dosis. Menurut *Casarett and Doull’s Toxicology: The Basic Science of Poisons* (Klaassen, 2021), toksikologi adalah ilmu yang mempelajari sifat fisik, kimia, dan biologis bahan kimia yang menyebabkan efek merugikan terhadap sistem biologis, serta mekanisme, intensitas, dan kejadian efek tersebut.

WHO (2020) mendefinisikan toksikologi sebagai studi ilmiah tentang sifat berbahaya dari zat terhadap organisme hidup, termasuk deteksi, penentuan dosis, penilaian risiko, dan tindakan pencegahannya. Dalam toksikologi dikenal istilah *toxin* dan *toxicant*. *Toxin* adalah racun yang berasal dari sumber biologis seperti tanaman, hewan, atau mikroorganisme (contoh: toksin botulinum, racun ular), sedangkan *toxicant* adalah racun buatan manusia, seperti pestisida atau logam berat dari industri. Selain itu, *poison* digunakan sebagai istilah umum untuk semua zat yang dapat menyebabkan cedera atau kematian jika masuk ke tubuh.

C. Ruang Lingkup Toksikologi

Ruang lingkup toksikologi sangat luas dan mencakup berbagai aspek ilmiah, klinik, serta kebijakan publik. Objek kajiannya meliputi obat-obatan, bahan kimia industri, logam berat, kosmetik, zat aditif pangan, serta polutan lingkungan.

Tujuan utama toksikologi adalah:

1. Mengidentifikasi dan memahami efek toksik suatu zat terhadap organisme hidup.

2. Menentukan hubungan antara dosis, waktu paparan, dan respon biologis.
3. Menilai risiko kesehatan akibat paparan bahan kimia.
4. Mengembangkan strategi pencegahan, deteksi dini, dan terapi terhadap efek toksik.

Dalam konteks farmasi, toksikologi berperan dalam memastikan keamanan obat baru sebelum diedarkan melalui uji toksisitas pra-klinik, serta dalam kegiatan *pharmacovigilance* pasca pemasaran untuk memantau efek samping yang muncul di masyarakat. Toksikologi juga memiliki kontribusi besar dalam pengendalian bahan kimia berbahaya, keselamatan kerja di industri, dan perlindungan lingkungan.

D. Cabang-cabang Ilmu Toksikologi

1. Toksikologi Umum (*General Toxicology*)

Toksikologi umum mempelajari prinsip dasar tentang bagaimana bahan kimia menimbulkan efek toksik terhadap tubuh. Kajian utamanya mencakup hubungan dosis–respon, konsep LD₅₀, waktu paparan, reversibilitas efek, serta faktor-faktor yang memengaruhi toksisitas seperti usia, jenis kelamin, status gizi, dan kondisi fisiologis. Ilmu ini juga menguraikan dua konsep penting, yaitu toksikokinetika (perjalanan zat toksik dalam tubuh: absorpsi, distribusi, metabolisme, ekskresi) dan toksikodinamika (interaksi zat toksik dengan target biologis).

2. Toksikologi Industri (*Industrial Toxicology*)

Toksikologi industri berfokus pada paparan bahan kimia di lingkungan kerja. Zat seperti pelarut organik, logam berat, dan debu industri dapat menyebabkan gangguan pada organ tubuh secara kronik. Oleh karena itu, toksikologi industri mempelajari efek paparan jangka panjang, penetapan *occupational exposure limit (OEL)*, serta strategi pencegahan melalui alat pelindung diri dan monitoring lingkungan kerja. Nakes atau Apoteker yang bekerja di industri farmasi, kimia, makanan, serta

industry lain perlu memahami toksikologi untuk memastikan keselamatan pekerja dan penanganan limbah-limbahnya.

3. Toksikologi Lingkungan (*Environmental Toxicology*)

Toksikologi lingkungan mempelajari dampak bahan kimia terhadap ekosistem, termasuk manusia, hewan, dan tumbuhan. Polusi udara, air, dan tanah menjadi fokus utama kajian ini. Zat berbahaya seperti pestisida, logam berat (Pb, Hg, Cd), serta bahan kimia persisten (PCB, dioxin) dapat terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi. Hasil kajian toksikologi lingkungan digunakan untuk menetapkan standar ambien dan kebijakan pengelolaan limbah.

4. Toksikologi Pangan (*Food Toxicology*)

Bidang ini membahas bahan berbahaya dalam makanan, baik yang sengaja ditambahkan (bahan tambahan pangan seperti pewarna, pemanis, pengawet) maupun yang tidak sengaja masuk (kontaminan, mikotoksin, residu pestisida). Tujuan toksikologi pangan adalah menjamin keamanan konsumsi pangan melalui penilaian risiko (*risk assessment*) dan penetapan *Acceptable Daily Intake (ADI)*. Di Indonesia, pengawasan ini dilakukan oleh BPOM melalui regulasi bahan tambahan pangan dan monitoring keamanan pangan olahan.

5. Toksikologi Klinis (*Clinical Toxicology*)

Toksikologi klinis merupakan cabang yang berkaitan langsung dengan diagnosis dan penatalaksanaan kasus keracunan pada manusia. Fokusnya meliputi:

- a. Identifikasi agen toksik melalui anamnesis dan pemeriksaan laboratorium.
- b. Penanganan awal (dekontaminasi, pemberian antidotum).
- c. Terapi suportif dan monitoring organ target.
Contoh kasus yang sering dijumpai: keracunan parasetamol, insektisida organofosfat, metanol, dan logam berat.

6. Toksikologi Forensik (*Forensic Toxicology*)

Toksikologi forensik memadukan ilmu toksikologi dengan hukum. Tujuannya adalah mendeteksi dan mengidentifikasi bahan toksik dalam sampel biologis (darah, urin, jaringan) untuk mendukung penyidikan kasus kematian, percobaan bunuh diri, atau penyalahgunaan obat. Teknik analisis yang digunakan meliputi kromatografi, spektrofotometri, dan spektrometri massa. Apoteker dapat berperan dibidang ini, terlebih yang bekerja di Laboratorium Kriminologi, seperti yang ada di Kepolisian RI.

7. Toksikologi Eksperimental dan Mekanistik

Cabang ini mempelajari mekanisme toksisitas melalui penelitian *in vivo* dan *in vitro*. Peneliti menggunakan hewan uji atau kultur sel untuk memahami proses biokimia terjadinya kerusakan sel, seperti stres oksidatif, gangguan enzim, perubahan DNA, dan apoptosis. Penelitian ini juga menjadi dasar dalam pengembangan uji toksisitas akut, subkronis, dan kronis.

8. Toksikologi Regulasi (*Regulatory Toxicology*)

Toksikologi regulasi mendukung proses pengambilan keputusan pemerintah dalam menetapkan batas aman bahan kimia dan obat. Badan regulator seperti BPOM, WHO, EPA, atau EFSA menggunakan data toksikologi untuk menilai keamanan sebelum suatu produk diizinkan beredar. Konsep penting dalam bidang ini meliputi *Good Laboratory Practice (GLP)*, *risk assessment*, dan *margin of safety (MOS)*.

9. Cabang Lain yang Berkembang

- a. Toksikogenomik dan Toksikoinformatika. Menggunakan data genetik dan bioinformatika untuk memahami variasi individu dalam respon terhadap bahan toksik.

- b. Toksikologi Veteriner. Mempelajari efek racun terhadap hewan ternak dan peliharaan serta implikasinya terhadap keamanan pangan asal hewan.
- c. Toksikologi Sosial. Menyoroti penyalahgunaan obat, alkohol, dan zat adiktif sebagai fenomena sosial yang berdampak toksikologis dan psikologis.

E. Perkembangan dan Aplikasi Toksikologi di Indonesia

Perkembangan toksikologi di Indonesia sejalan dengan meningkatnya perhatian terhadap kesehatan lingkungan dan keamanan obat. Sejak berdirinya BPOM, pengawasan terhadap bahan kimia berbahaya, kosmetik, dan obat tradisional menjadi lebih ketat. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) juga berperan dalam penilaian risiko limbah industri dan polusi lingkungan.

Beberapa kasus yang pernah menyoroti pentingnya toksikologi di Indonesia antara lain:

1. Kasus keracunan sianida (2016) yang menimbulkan perhatian terhadap toksikologi forensik.
2. Temuan kosmetik mengandung merkuri dan hidrokuinon ilegal.
3. Kasus cemaran logam berat pada ikan dan sayuran di daerah pertambangan.
4. Penggunaan plastic impor sebagai bahan bakar di berbagai industri yang menyebabkan cemaran dioksin di Provinsi Jawa Timur
5. Adanya cemaran radio aktif di Provinsi Banten

Ke depan, tantangan toksikologi di Indonesia mencakup peningkatan kapasitas laboratorium toksikologi, pengembangan sistem pelaporan efek samping bahan kimia, serta penerapan konsep *green pharmacy* atau *green industri* dalam pengelolaan limbah obat dan bahan kimia berbahaya.

F. Hubungan Toksikologi dengan Ilmu Farmasi

Toksikologi memiliki keterkaitan erat dengan semua cabang ilmu farmasi:

1. Farmakologi. Menjelaskan efek obat terhadap tubuh, toksikologi menjelaskan efek merugikannya.
2. Kimia Farmasi. Struktur kimia suatu senyawa menentukan toksisitasnya, perubahan kecil dapat meningkatkan atau menurunkan efek toksik.
3. Farmasi Klinik. Menangani pasien yang mengalami keracunan obat, overdosis, atau interaksi obat.
4. Farmasi Industri. Menggunakan data toksisitas untuk merancang formulasi yang aman dan memenuhi syarat uji pra-klinik.
5. Farmakovigilans. Aktivitas pasca pemasaran yang berfokus pada deteksi efek samping obat untuk menjaga keselamatan pasien.

Bagi apoteker, pemahaman toksikologi adalah bagian integral dari praktik profesional. Apoteker tidak hanya bertanggung jawab terhadap efektivitas terapi, tetapi juga terhadap keamanan penggunaan obat dan bahan kimia di masyarakat.

G. Rangkuman

Toksikologi adalah ilmu yang mempelajari efek merugikan dari zat kimia terhadap organisme hidup. Prinsip utamanya adalah bahwa semua zat dapat menjadi racun tergantung pada dosis, durasi, dan cara paparan. Ruang lingkup toksikologi mencakup berbagai bidang seperti toksikologi umum, industri, lingkungan, klinik, forensik, dan regulasi. Pemahaman toksikologi sangat penting bagi apoteker untuk menjamin keamanan obat, menilai risiko bahan kimia, serta melakukan intervensi klinik bila terjadi keracunan.

Dengan memahami dasar toksikologi, apoteker dan profesi kesehatan diharapkan mampu berperan aktif dalam upaya pencegahan dan

penanggulangan efek toksik, serta berkontribusi dalam pembangunan sistem kesehatan yang aman dan berkelanjutan.

SOAL LATIHAN

1. Siapa tokoh yang dikenal sebagai *Bapak Toksikologi Modern* dan memperkenalkan prinsip “Sola dosis facit venenum”?
 - A. Hippocrates
 - B. Paracelsus
 - C. Avicenna
 - D. Claude Bernard
 - E. Louis Pasteur
2. Menurut WHO (2020), toksikologi merupakan studi ilmiah tentang...
 - A. Penggunaan obat secara rasional dalam praktik klinik
 - B. Interaksi farmakokinetik dan farmakodinamik antarobat dalam praktik klinik
 - C. Sifat berbahaya zat terhadap organisme hidup, termasuk deteksi dan pencegahan efeknya
 - D. Efek terapeutik bahan kimia terhadap sistem biologis pada manusia
 - E. Pengaruh obat terhadap target reseptor spesifik
3. Toksin (*toxin*) dan toksikan (*toxicant*) dibedakan berdasarkan...
 - A. Dosis paparan
 - B. Sumber asal zat
 - C. Waktu paparan
 - D. Organ target
 - E. Rute ekskresi
4. Bidang toksikologi yang meneliti dampak bahan kimia terhadap ekosistem, termasuk manusia dan hewan, adalah...
 - A. Toksikologi Umum
 - B. Toksikologi Forensik
 - C. Toksikologi Industri

D. Toksikologi Lingkungan

E. Toksikologi Pangan

5. Tujuan utama toksikologi adalah berikut, kecuali...
 - A. Mengidentifikasi efek toksik zat terhadap organisme hidup
 - B. Menilai risiko kesehatan akibat paparan bahan kimia
 - C. Menentukan hubungan antara dosis dan respon
 - D. Mengembangkan terapi efek toksik
 - E. Meningkatkan efek terapeutik obat
6. Seorang mahasiswa menyatakan bahwa “zat yang berbahaya adalah racun”. Pernyataan ini tidak sepenuhnya benar karena...
 - A. Racun hanya berasal dari bahan alam, semisintesis, dan sintetis
 - B. Semua zat kimia tidak berbahaya
 - C. Bahaya suatu zat bergantung pada dosis dan cara paparan
 - D. Racun hanya ditemukan pada bahan alami
 - E. Semua zat kimia bersifat toksik dalam jumlah kecil
7. Dalam konteks farmasi, toksikologi berperan penting karena...
 - A. Menentukan efektivitas terapi suatu obat baru
 - B. Menjelaskan interaksi antar obat yang dapat menimbulkan efek toksik
 - C. Menjamin keamanan obat dan menilai risiko paparan bahan kimia
 - D. Mengatur dosis berdasarkan farmakokinetik
 - E. Mengembangkan obat baru melalui uji klinik
8. Seorang apoteker di industri kimia perlu memahami toksikologi industri agar dapat...
 - A. Meningkatkan produktivitas pekerja
 - B. Mengembangkan kosmetik yang menarik
 - C. Menetapkan *occupational exposure limit* dan mencegah paparan bahan berbahaya
 - D. Menilai risiko investasi bahan kimia dilihat dari sisi toksikologi

- E. Meningkatkan efektivitas promosi produk karena dapat menutupi sifat toksik dari zat yang diproduksi
9. Zat seperti merkuri dan pestisida yang mencemari lingkungan dapat masuk ke rantai makanan melalui proses...
- A. Biotransformasi
 - B. Biomagnifikasi
 - C. Biodegradasi
 - D. Bioekskresi
 - E. Bioeduksi
10. Pada kasus keracunan akut, apoteker harus memahami toksikologi klinis karena cabang ini berfokus pada...
- A. Pencegahan polusi lingkungan termasuk di Rumah Sakit
 - B. Deteksi kontaminan dalam bahan pangan
 - C. Diagnosis dan penatalaksanaan keracunan pada manusia
 - D. Analisis dampak sosial dari penggunaan dan penyalahgunaan obat
 - E. Uji toksisitas hewan percobaan
11. Dalam kasus kosmetik ilegal mengandung merkuri, keterlibatan cabang toksikologi yang paling relevan adalah...
- A. Toksikologi Industri dan Toksikologi Forensik
 - B. Toksikologi Pangan dan Toksikologi Klinis
 - C. Toksikologi Umum dan Toksikologi Veteriner
 - D. Toksikologi Sosial dan Toksikologi Regulasi
 - E. Toksikologi Mekanistik dan Eksperimental
12. Seorang apoteker menemukan kadar logam berat tinggi pada ikan di daerah pertambangan. Berdasarkan analisis toksikologi, tindakan yang paling tepat dilakukan adalah...
- A. Menghentikan semua aktivitas industri tambang yang diduga mencemari lingkungan
 - B. Melakukan penilaian risiko kesehatan dan menetapkan batas ambien sesuai standar WHO

- C. Menyarankan masyarakat untuk mencuci ikan lebih bersih dan merendamnya sebelum dimasak
- D. Mengembangkan formula obat antidotum untuk merkuri
- E. Mengajukan izin edar produk perikanan baru

JAWABAN SOAL LATIHAN BAB I

1. B
2. C
3. B
4. D
5. E
6. C
7. C
8. C
9. B
10. B
11. A
12. B

DAFTAR PUSTAKA

1. BPOM RI (2022) *Pedoman Penilaian Keamanan Bahan Kimia dan Obat*. Jakarta: Badan POM.
2. BPOM RI (2023) *Pedoman Penilaian Keamanan Bahan Kimia dan Obat*. Jakarta: Badan POM.
3. BPOM RI (2023) *Pedoman Penanganan Keracunan Obat dan Bahan Kimia*. Jakarta: Badan POM.
4. Casarett & Doull's Toxicology (2021) *The Basic Science of Poisons*. 9th ed. New York: McGraw-Hill.
5. Casarett & Doull's Toxicology (2023) *The Basic Science of Poisons*. 10th ed. New York: McGraw-Hill.
6. Costa, L.G. (2022) *Neurotoxicology: Approaches and Methods*. London: Academic Press.
7. Faustman, E.M. & Omiecinski, C.J. (2022) *Molecular and Biochemical Toxicology*. Hoboken: Wiley.
8. Goldfrank's Toxicologic Emergencies (2023) *Toxicologic Emergencies*. 11th ed. New York: McGraw-Hill.
9. Hayes, A.W. (2019) *Principles and Methods of Toxicology*. 7th ed. Boca Raton: CRC Press.
10. Hayes, A.W. & Kruger, C.L. (2023) *Hayes' Principles and Methods of Toxicology*. 7th ed. Boca Raton: CRC Press.
11. Hodgson, E. (2019) *A Textbook of Modern Toxicology*. 5th ed. Hoboken: Wiley.
12. Hodgson, E. (2024) *A Textbook of Modern Toxicology*. 6th ed. Hoboken: Wiley.
13. Paracelsus (1538) *The Book on the Miners' Sickness and Other Diseases of Miners*.
14. Priyanto & Sunaryo, H. (eds.) (2018) *Toksikologi: Mekanisme, Terapi Antidotum, dan Penilaian Risiko*. Jakarta: Leskonfi.

15. Shannon, W.M. et al. (2022) *Clinical Toxicology Review*. New York: McGraw-Hill.
16. Timbrell, J. (2020) *Introduction to Toxicology*. 5th ed. Boca Raton: CRC Press.

Laporan & Dokumen Kelembagaan

1. ECHA (2023) *Mixture Toxicity and Combined Exposure*. Helsinki: European Chemicals Agency.
2. IPCS (2022) *Principles of Characterizing and Applying Human Physiologically Based Pharmacokinetic (PBPK) Models*. Geneva: WHO.
3. OECD (2022) *Test Guidelines and Guidance Documents for the Safety Evaluation of Chemicals*. Paris: OECD Publishing.
4. OECD (2023) *Guidance on Toxicokinetics in Chemical Safety Assessment*. Paris: OECD Publishing.
5. OECD (2023) *Integrated Approaches to Testing and Assessment (IATA)*. Paris: OECD Publishing.
6. USEPA (2021) *Toxicokinetic Modelling for Risk Assessment Framework*. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
7. USEPA (2021) *Guidelines for Human Health Risk Assessment*. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
8. WHO (2020) *Environmental Health Criteria: Principles of Toxicology*. Geneva: World Health Organization.
9. WHO (2020) *Principles for the Assessment of Risks to Human Health from Exposure to Chemicals*. Geneva: World Health Organization.
10. WHO (2020) *Clinical Management of Poisoning and Drug Overdose*. Geneva: World Health Organization.
11. WHO IPCS (2024) *Harmonized Framework for Mixtures Risk Assessment*. Geneva: WHO Press.
12. WHO (2020) *Environmental Health Criteria Series: Mechanisms of Toxicity*. Geneva: World Health Organization.

TOKSIKOLOGI OBAT DAN ZAT KIMIA

Buku ini menyajikan pembahasan komprehensif mengenai prinsip, mekanisme, dan aplikasi ilmu toksikologi dalam konteks kefarmasian dan kesehatan. Dimulai dari landasan konseptual seperti hubungan dosis-respon, ambang batas toksisitas, serta interaksi antar toksikan, buku ini membawa pembaca memahami perjalanan zat toksik dalam tubuh melalui proses farmakokinetika (ADME) dan mekanisme kerusakan seluler yang ditimbulkannya.

Pembahasan dilanjutkan pada toksikologi organ target, penanganan klinis keracunan, hingga isu toksikologi industri, lingkungan, forensik, dan regulasi. Dengan pendekatan ilmiah yang sistematis serta dilengkapi rangkuman dan soal latihan pada setiap bab, buku ini dirancang untuk membantu mahasiswa farmasi dan tenaga kesehatan membangun pemahaman kritis dan aplikatif.

Penulis:

Dr. apt. Priyanto, M.Biomed. Pendidikan S1 dan Apt di Fak. Farmasi UGM, S2 Farmakologi FK UI, dan S3 Ilmu Faal dan Khasiat Obat IPB. Pengalaman bekerja antara lain: Ka IFRS Polri Pusat R Said Soekanto Jakarta, Manajer Operational PT. Pharmametric Lab., Evaluator Obat di UI/BPOM, Konsultan Kebijakan Obat di PT. Pertamina Penta Medika, Direktur PT. Farmalab, Pro Hire/Konsultan PT. Kimia Farma, dan Peneliti Utama di Equitrust Lab, serta Ketua Konsil Kefarmasian Indonesia. Sekarang Dosen prodi S1, Apt, dan Magister Farmasi Uhamka.

Dr. apt. Hadi Sunaryo, M.Si. Pendidikan S1 dan Apt di Fak. Farmasi UI, S2 Farmakologi ITB, dan S3 Ilmu Faal dan Khasiat Obat IPB. Pengalaman bekerja antara lain: Kaprodi S1 Farmasi Uhamka dan Dekan Fakultas Farmasi dan Sain (FFS) Uhamka. Sekarang Dosen prodi S1, Apt Magister Farmasi Uhamka.

ISBN 978-634-96408-6-2 (PDF)

