

BUNGA RAMPAI

**Analisis Toksikologi dan
Pemeriksaan NAPZA**

Editor : Leni Halimatusyadiah

BUNGA RAMPAI ANALISIS TOKSIKOLOGI DAN PEMERIKSAAN NAPZA

Penulis:

Rina Setyawati; Nafila; Nur Habibah; Dian Wuri Astuti;
Karolina Rosmiati; Izza Ratna Kumala; Muji Rahayu;
Diah Navianti; Ayu Tri Agustin; Septiani; Siti Fatimah;
Digna Renny Panduwati;

Editor:

Leni Halimatusyadiah



PT. Mustika Sri Rosadi

BUNGA RAMPAI ANALISIS TOKSIKOLOGI DAN PEMERIKSAAN NAPZA

Penulis:

Rina Setyawati; Nafila; Nur Habibah; Dian Wuri Astuti; Karolina Rosmiati; Izza Ratna Kumala; Muji Rahayu; Diah Navianti; Ayu Tri Agustin; Septiani; Siti Fatimah; Digna Renny Panduwati;

Editor: Leni Halimatusyadiah

Layout: Tim PT. Mustika Sri Rosadi

Desain Sampul: Tim PT. Mustika Sri Rosadi

ISBN: 978-634-04-2276-4 (PDF)

Cetakan Pertama: 28 Juli 2025

Hak Cipta 2025

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Diterbitkan oleh Penerbit Mustika Sri Rosadi

Alamat Penerbit: Citra Indah City, Bukit Heliconia AG 23/32,
Kecamatan Jonggol, Kab. Bogor.

Email: mars.mustikasrirosadi@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku dengan judul **“Toksikologi dan NAPZA: Konsep, Metode Analisis, dan Interpretasi Klinis”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai salah satu upaya memberikan pemahaman komprehensif terkait ilmu toksikologi serta deteksi dan interpretasi penggunaan Narkotika, Psikotropika, dan Zat Adiktif (NAPZA), khususnya dalam praktik laboratorium medis dan bidang kesehatan masyarakat.

Buku ini terdiri dari dua belas bab yang membahas berbagai aspek mulai dari konsep dasar toksikologi, metode deteksi laboratorium, interpretasi hasil pemeriksaan, dampak paparan zat beracun seperti logam berat, peran biomarker, pengaruh pola makan, hingga perkembangan teknologi nano dalam deteksi cepat zat toksik. Selain itu, juga diuraikan mengenai regulasi pemeriksaan NAPZA di Indonesia dan tantangan terkini dalam pengelolaan kasus penyalahgunaan zat adiktif.

Penyusunan buku ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dan editor menyampaikan terima kasih kepada semua kontributor penulis, akademisi, praktisi laboratorium, serta tenaga

kesehatan yang telah memberikan kontribusi pemikiran, pengalaman, dan referensi ilmiah, sehingga buku ini dapat tersusun secara sistematis.

Kami menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami harapkan untuk perbaikan dan pengembangan edisi berikutnya. Besar harapan kami, buku ini dapat menjadi sumber bacaan yang bermanfaat bagi mahasiswa, tenaga kesehatan, peneliti, maupun praktisi yang berkecimpung di bidang laboratorium medis, kesehatan masyarakat, maupun bidang hukum forensik.

Akhir kata, semoga buku ini dapat memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan pengetahuan dan pemahaman mengenai toksikologi dan NAPZA, serta mendorong terciptanya masyarakat yang lebih sehat, cerdas, dan produktif.

Bogor, 28 Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
PENDAHULUAN-Leni Halimatusyadiah	1
A. Pendahuluan.....	1
B. Metode Penulisan.....	2
C. Outline Bunga Rampai.....	3
BAB 1. KONSEP DASAR TOKSIKOLOGI DALAM LABORATORIUM MEDIS-Rina Setyawati	7
A. Pendahuluan.....	7
B. Toksisitas	9
C. Jenis-jenis Toksikologi.....	12
D. Metode Analisis.....	14
E. Peran dalam Laboratorium Medis	16
F. Penutup	18
G. Daftar Pustaka.....	19
BAB 2. METODE DETEKSI NAPZA DALAM SAMPEL BIOLOGIS-Nafila	21
A. Pendahuluan.....	21
B. Jenis Sampel Biologis untuk Deteksi NAPZA	23
C. Metode Skrining Awal (<i>Preliminary Testing</i>)	27
D. Metode Konfirmasi (<i>Confirmatory Testing</i>)	30
E. Daftar Pustaka.....	34
BAB 3. SKRINING NAPZA DENGAN TEKNIK IMMUNOASSAY-Nur Habibah	37

A. Pendahuluan.....	37
B. Prinsip Dasar Immunoassay	38
C. Metode Skrining NAPZA dengan Immunoassay ..	42
D. Kelebihan dan Keterbatasan Immunoassay.....	48
E. Aplikasi Immunoassay dalam Skrining NAPZA.....	50
F. Daftar Pustaka.....	52

**BAB 4. KONFIRMASI PENGGUNAAN NAPZA
DENGAN GC-MS DAN LC-MS/MS-Dian Wuri Astuti ..
55**

A. Pendahuluan.....	55
B. Metode Konvensional Berbasis <i>Mass Spectrometry</i>	56
C. Aplikasi Dan Studi Kasus	65
D. Penutup	70
E. Daftar Pustaka.....	70

**BAB 5. INTERPRETASI HASIL UJI TOKSIKOLOGI-
Karolina Rosmiati**

A. Tujuan dan Ruang Lingkup Interpretasi	73
B. Kategori Uji Toksikologi.....	75
C. Aspek Penting dalam Interpretasi Hasil	78
D. Konteks Klinis & Hukum dalam Interpretasi Hasil Toksikologi	82
E. Pelaporan dan Pertanggungjawaban Keilmuan dalam Interpretasi Toksikologi	85
F. Daftar Pustaka.....	89

**BAB 6. ANALISIS LOGAM BERAT DAN DAMPAKNYA
PADA KESEHATAN-Izza Ratna Kumala**

91

A. Pendahuluan.....	91
B. Timbal.....	93
C. Kadmium.....	97
D. Merkuri.....	100
E. Arsen.....	103
F. Penutup	106
G. Daftar Pustaka.....	107
BAB 7. BIOMARKER DALAM PEMANTAUAN EFEK JANGKA PANJANG PAPARAN NAPZA-Muji Rahayu	111
A. Pendahuluan.....	111
B. Jenis-jenis Biomarker untuk Pemantauan Efek NAPZA.....	112
C. Manfaat Pemeriksaan Biomarker	132
D. Penutup	133
E. Daftar Pustaka.....	133
BAB 8. PENGARUH POLA MAKAN TERHADAP METABOLISME NAPZA-Diah Navianti	138
A. Pendahuluan.....	138
B. Pengaruh Pola makan terhadap Toksikokinetik NAPZA.....	139
C. Pengaruh Pola Makan terhadap Toksikodinamik dan Jalur Metabolik Energi.....	144
D. Penutup	147
E. Daftar Pustaka.....	150
BAB 9. PENGARUH FAKTOR GENETIK TERHADAP RESPONS TERHADAP NAPZA-Ayu Tri Agustin.....	154

A. Pendahuluan.....	154
B. Dasar Genetik dalam Respons terhadap Zat Psikoaktif.....	155
C. Farmakogenetik NAPZA: Studi Kasus pada Opioid, Amfetamin, dan Kanabinoid.....	159
D. Interaksi Gen-Lingkungan (GxE) dalam Ketergantungan NAPZA	160
E. Penerapan Pengetahuan Genetik dalam Penanganan NAPZA	162
F. Tantangan dan Etika dalam Aplikasi Genetik untuk Pencegahan NAPZA.....	163
G. Penutup	163
H. Daftar Pustaka.....	164
BAB 10. TEKNOLOGI NANO DALAM DETEKSI CEPAT ZAT BERACUN-Septiani	167
A. Pendahuluan.....	167
B. Prinsip Dasar Teknologi Nano dalam Deteksi....	169
C. Jenis Nanomaterial dalam Sistem Deteksi	171
D. Aplikasi Teknologi Nano dalam Deteksi Cepat..	175
E. Daftar Pustaka.....	178
BAB 11. REGULASI DAN KEBIJAKAN PEMERIKSAAN NAPZA-Siti Fatimah	180
A. Pendahuluan.....	180
B. Regulasi Pemeriksaan NAPZA di Indonesia.....	181
C. Tantangan yang dihadapi dalam Regulasi Pemeriksaan NAPZA.....	188

D. Teknologi yang Digunakan dalam Pemeriksaan NAPZA.....	189
E. Contoh Aplikasi Pemeriksaan Narkoba di Rumah Sakit, Lembaga Pendidikan, dan Sektor Ketenagakerjaan	191
F. Daftar Pustaka.....	192
BAB 12. TANTANGAN DALAM ANALISIS NAPZA DAN TOKSIKOLOGI KLINIS-Digna Renny Panduwati	195
A. Pendahuluan.....	195
B. Isi	197
C. Penutup	210
D. Daftar Pustaka.....	211
BAB 13. PENUTUP-Leni Halimatusyadiah.....	214
BIOGRAFI EDITOR.....	222
BIOGRAFI PENULIS	223
SINOPSIS.....	235

PENDAHULUAN

Oleh: Leni Halimatusyadiah

A. Pendahuluan

Permasalahan penyalahgunaan Narkotika, Psikotropika, dan Zat Adiktif (NAPZA) telah menjadi isu kesehatan masyarakat yang semakin kompleks dalam dua dekade terakhir. Tidak hanya berdampak terhadap aspek kesehatan individu, penyalahgunaan NAPZA juga berkontribusi terhadap permasalahan sosial, kriminalitas, serta produktivitas bangsa. Indonesia sebagai salah satu negara dengan populasi besar turut mengalami peningkatan kasus penyalahgunaan NAPZA, baik dari segi prevalensi maupun keragaman zat adiktif yang beredar.

Dampak negatif NAPZA terhadap kesehatan tidak hanya bersifat akut, namun juga menimbulkan risiko kronis jangka panjang seperti gangguan mental, kerusakan organ vital, hingga mortalitas dini. Oleh karena itu, penanganan penyalahgunaan NAPZA memerlukan intervensi komprehensif dari berbagai sektor, salah satunya melalui deteksi dini berbasis pemeriksaan toksikologi laboratorium.

Peran toksikologi laboratorium sangat strategis, khususnya dalam mendeteksi keberadaan zat adiktif dalam sampel biologis, mengkonfirmasi penggunaan

NAPZA, serta mengevaluasi dampak paparan jangka panjang, termasuk toksisitas logam berat yang sering ditemukan secara bersamaan. Perkembangan teknologi pemeriksaan laboratorium, seperti penggunaan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) dan kromatografi cair tandem spektrometri massa (LC-MS/MS), telah membawa perubahan signifikan dalam akurasi deteksi dan konfirmasi NAPZA.

Buku bunga rampai ini disusun dengan tujuan memberikan pemahaman ilmiah yang komprehensif terkait konsep dasar toksikologi, metode deteksi laboratorium, serta tantangan terkini dalam pemeriksaan NAPZA. Materi disusun secara sistematis untuk mendukung kebutuhan akademisi, praktisi laboratorium medis, serta para pemangku kebijakan dalam memperkuat upaya penanggulangan penyalahgunaan NAPZA di Indonesia.

B. Metode Penulisan

Penulisan buku ini dilakukan dengan metode studi literatur (*library research*) yang bersifat kualitatif. Pengumpulan data dilakukan melalui telaah mendalam terhadap sumber-sumber ilmiah yang relevan, termasuk buku teks, artikel jurnal terindeks nasional dan internasional, pedoman resmi dari lembaga pemerintah seperti Badan Narkotika

Nasional (BNN), serta dokumen peraturan perundang-undangan yang berkaitan.

Literatur yang dipilih merupakan publikasi dengan relevansi tinggi, dengan prioritas sumber-sumber yang diterbitkan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir untuk menjaga aktualitas informasi. Proses analisis dilakukan melalui proses identifikasi, kategorisasi topik, serta sintesis narasi akademik agar tercipta kesinambungan antarbab yang sistematis dan terstruktur.

Pendekatan penulisan bersifat deskriptif analitis, yang tidak hanya menyajikan teori dan konsep, tetapi juga mengaitkan data empiris dengan tantangan implementasi di lapangan. Harapannya, buku ini dapat menjadi referensi akademik yang valid sekaligus praktis dalam penguatan kapasitas sumber daya manusia di bidang pemeriksaan NAPZA dan toksikologi klinis.

C. Outline Bunga Rampai

BAB 1. KONSEP DASAR TOKSIKOLOGI DALAM LABORATORIUM MEDIS

Menguraikan prinsip-prinsip dasar toksikologi, jalur paparan zat toksik dalam tubuh manusia, mekanisme metabolisme zat berbahaya, serta signifikansi toksikologi dalam praktik laboratorium medis.

BAB 2. METODE DETEKSI NAPZA DALAM SAMPEL BIOLOGIS

Membahas teknik-teknik deteksi NAPZA pada berbagai matriks biologis seperti urin, darah, air liur, dan rambut, meliputi metode skrining awal serta pengenalan prinsip pemeriksaan lanjutan.

BAB 3. SKRINING NAPZA DENGAN TEKNIK IMMUNOASSAY

Membahas prinsip dasar immunoassay, metode skrining NAPZA dengan immunoassay, kelebihan dan keterbatasan immunoassay serta aplikasi immunoassay dalam skrining NAPZA

BAB 4. KONFIRMASI PENGGUNAAN NAPZA DENGAN GC-MS DAN LC-MS/MS

Menyajikan penjelasan komprehensif terkait metode konfirmasi menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa dan kromatografi cair tandem spektrometri massa sebagai standar emas dalam pemeriksaan laboratorium.

BAB 5. INTERPRETASI HASIL UJI TOKSIKOLOGI

Mendeskripsikan prinsip interpretasi hasil uji laboratorium, faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengujian, serta pertimbangan praktis dalam menentukan status penggunaan NAPZA.

BAB 6. ANALISIS LOGAM BERAT DAN DAMPAKNYA PADA KESEHATAN

Mengupas berbagai jenis logam berat yang sering ditemukan pada populasi risiko tinggi, metode analisis laboratorium yang digunakan, serta dampak toksikologis logam berat terhadap kesehatan manusia.

BAB 7. BIOMARKER DALAM PEMANTAUAN EFEK JANGKA PANJANG PAPARAN NAPZA

Menjelaskan peran biomarker biologis dalam pemantauan efek jangka panjang paparan NAPZA, validitas penggunaan biomarker, serta potensi pengembangannya dalam layanan kesehatan masyarakat.

BAB 8. PENGARUH POLA MAKAN TERHADAP METABOLISME NAPZA

Mengkaji keterkaitan antara asupan nutrisi, pola diet, serta faktor metabolisme individu dalam pengaruhnya terhadap proses detoksifikasi atau bioaktivasi zat adiktif.

BAB 9. TEKNOLOGI NANO DALAM DETEKSI CEPAT ZAT BERACUN

Membahas inovasi terkini penggunaan teknologi nanomaterial dalam mendukung deteksi cepat zat beracun, termasuk pengembangan biosensor berbasis nano untuk identifikasi NAPZA.

BAB 10. REGULASI DAN KEBIJAKAN PEMERIKSAAN NAPZA

Menganalisis regulasi yang berlaku terkait pemeriksaan NAPZA di Indonesia dan standar internasional, serta mengkaji peran kebijakan publik dalam penguatan sistem deteksi laboratorium.

BAB 11. TANTANGAN DALAM ANALISIS NAPZA DAN TOKSIKOLOGI KLINIS

Mengidentifikasi tantangan aktual dalam pelaksanaan pemeriksaan NAPZA dan toksikologi klinis, baik dari aspek teknis, regulatif, maupun sumber daya manusia, serta menawarkan rekomendasi solusi penguatan layanan laboratorium.

BAB 12. PENUTUP

Buku ini telah membahas secara komprehensif mengenai toksikologi dan narkotika, psicotropika, serta zat adiktif (NAPZA), mulai dari konsep dasar, jenis-jenis zat berbahaya, mekanisme kerja zat toksik dalam tubuh, hingga dampak penyalahgunaan NAPZA terhadap kesehatan fisik, mental, dan sosial.

BAB 1. KONSEP DASAR TOKSIKOLOGI DALAM LABORATORIUM MEDIS

Oleh: Rina Setyawati

A. Pendahuluan

Toksikologi adalah ilmu yang mempelajari bagaimana zat kimia dapat menimbulkan efek berbahaya bagi makhluk hidup dan sistem biologis. Ilmu ini juga membahas seberapa sering dan seberapa berat efek tersebut terjadi ketika makhluk hidup terpapar zat kimia. Zat disebut beracun jika berpotensi mengganggu fungsi biologis organisme. Sifat racun suatu zat dipengaruhi oleh dosis, konsentrasi, sifat zat, kondisi tubuh, cara paparan, dan jenis efek yang ditimbulkan. Toksisitas sendiri berarti kemampuan suatu zat untuk menyebabkan efek berbahaya bagi organisme.

Toksikologi merupakan cabang ilmu yang mempelajari efek merugikan dari berbagai zat kimia, agen biologis, dan faktor fisik terhadap organisme hidup serta dampaknya terhadap lingkungan. Ilmu ini tidak hanya mengkaji sifat toksik suatu zat, tetapi juga memahami bagaimana zat tersebut masuk ke dalam tubuh, dosis yang dapat menimbulkan efek berbahaya, jalur penyebarannya, cara kerjanya,

metabolisme, serta dampak biologis yang ditimbulkannya.

Dalam bidang laboratorium medis, toksikologi berperan penting dalam proses identifikasi, analisis zat beracun dalam tubuh manusia baik yang masuk secara sengaja maupun tidak sengaja, dan interpretasi hasil pemeriksaan toksikologi yang menjadi dasar bagi berbagai kebutuhan klinis dan investigatif. Pemeriksaan toksikologi dilakukan untuk membantu diagnosis kasus keracunan akut maupun kronis, baik akibat paparan bahan kimia, obat-obatan, maupun racun biologis. Selain itu, toksikologi juga digunakan dalam pemantauan kadar obat pada pasien untuk memastikan efektivitas terapi sekaligus mencegah efek samping toksik akibat dosis berlebih. Pada bidang forensik, toksikologi berperan dalam analisis zat beracun yang berhubungan dengan kasus kriminal, kecelakaan, atau kematian yang dicurigai. Dalam bidang lingkungan berfungsi untuk mengkaji dampak zat berbahaya terhadap makhluk hidup dan lingkungan, serta membantu menilai risiko, menetapkan batas aman paparan, dan mendukung upaya pencegahan pencemaran.

Pemeriksaan toksikologi sangat berperan dalam diagnosis kasus keracunan, penentuan kadar obat dalam terapi, pemantauan penyalahgunaan zat, serta evaluasi risiko kesehatan akibat paparan bahan kimia.

Selain itu, toksikologi juga membantu dalam memberikan informasi penting bagi dokter dalam menentukan tindakan medis yang tepat, baik berupa penatalaksanaan keracunan akut maupun pemantauan efek obat dalam jangka panjang. Dengan demikian, peran toksikologi di laboratorium medis tidak hanya sebatas deteksi, tetapi juga menjadi bagian integral dari upaya pencegahan, pengobatan, dan pemulihan kesehatan pasien.

Dengan adanya pengujian toksikologi yang akurat di laboratorium medis, dokter dan tenaga kesehatan dapat mengambil keputusan yang tepat dalam penanganan pasien, sementara di sisi lain, bidang forensik mendapatkan data ilmiah yang dapat digunakan sebagai bukti hukum. Oleh karena itu, toksikologi laboratorium tidak hanya berfungsi dalam aspek klinis, tetapi juga menjadi bagian penting dalam layanan penegakan hukum.

B. Toksisitas

Toksisitas merupakan kemampuan suatu zat untuk menimbulkan efek merugikan atau berbahaya pada organisme hidup. Efek toksik ini sangat bergantung pada berbagai faktor, seperti dosis, jalur paparan (misalnya, melalui inhalasi, oral, atau kontak kulit), frekuensi paparan, durasi paparan, serta kondisi

fisiologis individu yang terpapar, termasuk usia, jenis kelamin, dan status kesehatan. Sebuah zat yang umumnya dianggap aman dapat menjadi toksik apabila dikonsumsi dalam jumlah berlebihan atau digunakan secara tidak tepat.

Dalam dunia medis dan laboratorium, pemahaman mengenai toksisitas sangat penting untuk menilai risiko paparan bahan kimia, obat-obatan, atau agen biologis tertentu terhadap tubuh manusia. Toksisitas juga menjadi dasar dalam penentuan batas aman penggunaan zat, baik dalam pengobatan maupun dalam lingkungan kerja dan kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, pengujian toksisitas dilakukan untuk memastikan keamanan suatu zat sebelum digunakan secara luas, serta sebagai panduan dalam penatalaksanaan kasus keracunan atau paparan berbahaya di lingkungan klinis dan forensik.

Toksisitas dapat dibedakan berdasarkan waktu kemunculan gejala setelah terpapar zat beracun.

1. Toksisitas Akut

Kondisi ketika efek berbahaya muncul dengan cepat atau dalam waktu singkat setelah paparan, biasanya dalam hitungan jam hingga beberapa hari, baik akibat paparan tunggal maupun dalam dosis besar. Efek yang ditimbulkan bisa bersifat sementara (dapat sembuh) atau permanen (tidak dapat dipulihkan).

2. Toksisitas Subakut

Mengacu pada munculnya gejala keracunan setelah paparan berulang atau dosis tunggal yang berlangsung selama periode menengah, yaitu dalam beberapa minggu hingga bulan. Gejala biasanya berkembang secara bertahap, tergantung pada intensitas dan lama paparan.

3. Toksisitas Kronis

Terjadi akibat paparan berulang terhadap zat beracun dalam jangka waktu yang sangat panjang, bisa berlangsung selama bertahun-tahun hingga puluhan tahun. Efek toksik dari paparan jenis ini umumnya bersifat kumulatif dan dapat terus berlanjut meskipun paparan telah dihentikan. Pemahaman mengenai jenis-jenis toksisitas ini penting untuk penilaian risiko, pengendalian paparan bahan berbahaya, serta sebagai dasar dalam diagnosis dan penanganan kasus keracunan.

Dosis merupakan jumlah atau takaran zat yang masuk ke dalam tubuh dan mampu menimbulkan efek biologis. Dalam dunia kedokteran, dosis digunakan untuk menunjukkan takaran obat atau zat lain yang diberikan sebagai terapi. Sedangkan dalam bidang toksikologi, dosis merujuk pada jumlah zat berbahaya, seperti racun, karsinogen, mutagen, atau teratogen,

yang masuk dan terpapar ke tubuh organisme. Berikut adalah macam-macam dosis:

1. Potential dose yaitu jumlah zat yang bersentuhan atau masuk ke tubuh, baik melalui mulut, pernapasan, atau kulit.
2. Applied dose yaitu jumlah zat yang berada di permukaan tubuh seperti kulit, paru-paru, atau saluran cerna dan siap diserap.
3. Internal dose yaitu zat yang sudah terserap oleh tubuh dan dapat berinteraksi dengan sistem biologis.
4. Delivered dose yaitu bagian dari zat yang berhasil dibawa ke organ atau jaringan tertentu, biasanya hanya sebagian dari dosis yang diserap.
5. *Biologically effective dose* yaitu jumlah zat yang benar-benar mencapai sel atau lokasi target di dalam tubuh tempat timbulnya efek.

C. Jenis-jenis Toksikologi

Analisis toksikologi merupakan proses pemeriksaan laboratorium yang bertujuan untuk mendeteksi, mengidentifikasi, dan mengukur kandungan zat toksik atau bahan kimia berbahaya dalam sampel biologis seperti darah, urine, saliva, atau jaringan tubuh. Dalam dunia medis, analisis toksikologi digunakan untuk membantu diagnosis keracunan, menentukan kadar obat terapeutik, serta memantau pasien yang diduga

mengalami overdosis atau efek samping obat. Di bidang forensik, analisis ini menjadi bagian penting dalam penyelidikan kasus kematian yang tidak wajar, dugaan penyalahgunaan narkoba, atau paparan racun yang disengaja.

Toksikologi memiliki berbagai cabang yang masing-masing berperan sesuai dengan bidang aplikasinya.

1. Toksikologi klinis merupakan cabang toksikologi yang berfokus pada diagnosis, penatalaksanaan, dan pencegahan keracunan pada manusia. Dalam praktiknya, toksikologi klinis berperan penting dalam pelayanan kesehatan, khususnya dalam membantu tenaga medis mendeteksi adanya zat beracun di dalam tubuh pasien, menilai tingkat keparahan keracunan, serta menentukan tindakan pengobatan yang tepat. Pemeriksaan toksikologi klinis sering kali diperlukan dalam kasus overdosis obat, paparan bahan kimia berbahaya, atau konsumsi racun secara tidak sengaja.
2. Toksikologi forensik berperan dalam ranah hukum, terutama dalam menganalisis sampel biologis seperti darah, urine, jaringan tubuh, atau cairan tubuh lainnya untuk keperluan investigasi kasus kriminal atau perdata. Toksikologi forensik digunakan untuk mengungkap penyebab kematian yang mencurigakan, mendeteksi adanya

penyalahgunaan narkotika atau zat berbahaya lainnya, serta memberikan bukti ilmiah yang sah di pengadilan. Hasil analisis toksikologi forensik sering kali menjadi bagian penting dalam proses penyelidikan dan keputusan hukum, karena dapat membantu menentukan hubungan antara zat beracun yang ditemukan dengan peristiwa hukum yang sedang diselidiki. Selain itu, keakuratan dan validitas hasil pemeriksaan sangat berperan dalam memastikan keadilan serta memperkuat alat bukti di pengadilan.

3. Toksikologi lingkungan adalah cabang dari ilmu toksikologi yang mempelajari dampak berbagai zat kimia berbahaya atau polutan di lingkungan terhadap kesehatan manusia, hewan, dan ekosistem. Ilmu ini berfokus pada bagaimana bahan pencemar (seperti logam berat, pestisida, limbah industri, dan polutan udara) masuk ke lingkungan, tersebar, terakumulasi, serta menimbulkan efek toksik pada makhluk hidup.

D. Metode Analisis

Metode analisis toksikologi merupakan serangkaian teknik dan prosedur yang digunakan untuk mendeteksi, mengidentifikasi, dan mengukur kadar zat toksik di dalam sampel biologis atau lingkungan. Beberapa metode yang umum digunakan

di laboratorium toksikologi meliputi uji kualitatif, yang bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya zat toksik tertentu dalam sampel, dan uji kuantitatif, yang berfungsi untuk mengukur kadar zat tersebut secara tepat.

Metode analisis toksikologi menggunakan berbagai teknik laboratorium seperti immunoassay, kromatografi, spektrometri, dan spektrofotometri, yang masing-masing memiliki kelebihan dalam mendeteksi zat tertentu dengan sensitivitas dan spesifisitas tinggi. Hasil dari analisis toksikologi tidak hanya digunakan untuk tujuan klinis atau forensik, tetapi juga berperan penting dalam penelitian ilmiah, pengembangan obat, serta evaluasi risiko bahan kimia terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Dengan demikian, analisis toksikologi menjadi bagian integral dalam upaya pencegahan, penanganan, dan pengendalian dampak negatif zat beracun terhadap kehidupan manusia.

Ada beberapa metode yang umum digunakan untuk analisis toksikologi. Salah satunya adalah immunoassay dengan memanfaatkan interaksi antigen dan antibodi untuk mendeteksi zat toksik secara cepat dan spesifik. Selanjutnya dapat menggunakan kromatografi seperti kromatografi gas (GC) dan kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC), yang berfungsi memisahkan komponen campuran sebelum

dilakukan analisis lanjutan. Untuk memastikan identifikasi zat secara akurat, biasanya kromatografi dikombinasikan dengan detektor seperti spektrometri massa (MS) sehingga menghasilkan teknik GC-MS atau LC-MS yang sangat sensitif dan selektif. Selain itu, metode spektrofotometri juga digunakan untuk analisis zat-zat tertentu yang memiliki karakteristik penyerap cahaya khusus.

Pemilihan metode analisis sangat bergantung pada jenis sampel, karakteristik zat yang dicari, serta tujuan pemeriksaan. Apakah tujuannya untuk diagnosis klinis, investigasi forensik, atau pemantauan lingkungan. Keakuratan, sensitivitas, dan spesifisitas metode analisis toksikologi sangat menentukan kualitas hasil yang diperoleh sehingga dapat menjadi dasar yang kuat dalam pengambilan keputusan medis, penegakan hukum, maupun penelitian ilmiah. Karena itu, pemilihan metode yang tepat akan meminimalkan risiko kesalahan hasil dan memastikan interpretasi data yang benar.

E. Peran dalam Laboratorium Medis

Dalam laboratorium medis, analisis toksikologi memiliki peran yang sangat penting dan beragam, terutama dalam mendukung pelayanan kesehatan dan proses hukum.

1. Diagnosis Keracunan

Salah satu peran utamanya adalah membantu dokter dalam diagnosis kasus keracunan, baik yang disebabkan oleh obat-obatan, bahan kimia, zat beracun alami, maupun zat berbahaya lainnya. Dengan melakukan identifikasi terhadap zat toksik yang terdapat dalam sampel biologis pasien, laboratorium dapat memberikan data objektif yang menjadi dasar dalam menentukan penyebab keracunan dan strategi penanganannya.

2. Pemantauan Pengobatan

Toksikologi juga berperan dalam pemantauan pengobatan, terutama bagi pasien yang menjalani terapi dengan obat-obatan yang memiliki batas dosis sempit atau potensi toksisitas tinggi. Melalui pemantauan kadar obat dalam darah, laboratorium membantu memastikan bahwa konsentrasi obat tetap berada dalam rentang terapeutik yang aman, sehingga efektivitas pengobatan dapat tercapai tanpa menimbulkan efek samping yang berbahaya.

3. Forensik

Dalam bidang forensik, toksikologi laboratorium berkontribusi dalam penyelidikan kasus-kasus hukum, seperti kematian mendadak, dugaan overdosis, atau penyalahgunaan narkotika dan obat-obatan terlarang. Analisis toksikologi forensik memberikan informasi penting mengenai

keberadaan dan kadar zat beracun dalam tubuh korban atau tersangka, yang sering kali menjadi bukti pendukung dalam proses penyidikan dan pengadilan.

F. Penutup

Pemahaman tentang konsep dasar toksikologi dalam laboratorium medis sangat penting untuk mendukung berbagai aspek pelayanan kesehatan, mulai dari diagnosis keracunan, pemantauan pengobatan dalam manajemen terapi pasien, hingga analisis forensik untuk proses investigasi hukum. Toksikologi tidak hanya berperan dalam mengidentifikasi dan mengukur zat beracun dalam tubuh, tetapi juga menjadi dasar dalam pengambilan keputusan medis dan tindakan hukum yang tepat. Dengan perkembangan teknologi analisis yang semakin canggih, laboratorium medis mampu memberikan hasil yang lebih akurat, cepat, dan dapat diandalkan. Oleh karena itu, penguasaan prinsip-prinsip toksikologi oleh tenaga laboratorium medis menjadi hal yang sangat krusial dalam mendukung praktik medis yang profesional dan bertanggung jawab. Selain itu, peran aktif laboratorium toksikologi juga penting dalam mendukung program pencegahan keracunan dan pengendalian risiko kesehatan masyarakat.

G. Daftar Pustaka

- Dawson A.H, Eddleston M, Senarathna L, Mohamed F, Gawarammana I, et al. (2010). *Acute Human Lethal Toxicity of Agricultural Pesticides: A Prospective Cohort Study*. PLoS Med 7(10): e1000357. doi:10.1371/journal.pmed.1000357
- Departemen Kesehatan, (2004). *Pedoman Pemeriksaan Laboratorium Toksikologi Obat*, DitJen. Pelayanan Medik.
- Dhabal, S., Nandi, K., Sen, D. J., & Saha, D. (2022). *Toxicology: It's Basic Instinct & Application In Forensic Field*. Insights of Herbal Medicine, 1(1). <https://doi.org/10.33140/i hm.01.01.05>
- Flanagan, R.F., Taylor, A., Watson, I.D., Whelpton, R. (2007). *Fundamental of Analytical Toxicology*, Willey, Sussex, England.
- Ford, M.D., Delaney, K.A., Ling, L.J., Erickson, T., (2007). *Clinical Toxicology*. Elsevier Inc.
- Gordon, E. B. (2024). *Book Review: Hayes' Principles and Methods of Toxicology*. *International Journal of Toxicology*, 43(2), 212+220. <https://doi.org/10.1177/10915818231224870>
- Manahan, E.S. (2003). *Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd ed*. Lewis Publisher, London.
- Putri, S.K., Sudarma, N., Widyayanti, O.A., Muslim, A., Habibah, N., Rasyid, S.A., Panduwati, D.R., Rachman, R.M., Shinta, D.Y., Pato, U. (2024). *Toksikologi*. CV

Hei Publishing Indonesia. Padang Sumatera Barat.
ISBN : 978-623-89218-6-7

Rahayu, M. Solihat, M. F. (2018). *Toksikologi Klinik*.
Bahan Ajar Teknologi Laboratorium Medik (TLM).
Kemenkes RI.

Wirasuta, I.M.A.G & Niruri, R. (2007). *Buku Ajar
Toksikologi Umum*. Bali: Fakultas Farmasi Udayana

BAB 2. METODE DETEKSI NAPZA DALAM SAMPEL BIOLOGIS

Oleh: Nafila

A. Pendahuluan

Narkotika, Psikotropika, dan Zat Adiktif lainnya, yang secara kolektif dikenal sebagai NAPZA, mencakup berbagai jenis senyawa kimia yang memiliki potensi menyebabkan kecanduan serta menimbulkan gangguan pada kesehatan fisik, psikologis, dan perilaku penggunanya. Penggunaan zat-zat ini tanpa pengawasan medis yang tepat dapat menyebabkan dampak serius, tidak hanya bagi individu pengguna, tetapi juga terhadap keluarga, masyarakat, dan sistem kesehatan secara umum.

Deteksi keberadaan NAPZA dalam tubuh manusia memiliki peranan krusial dalam berbagai bidang. Dalam dunia medis, identifikasi dini terhadap zat adiktif dapat mendukung proses diagnosis dan rehabilitasi pasien. Di bidang forensik dan penegakan hukum, pengujian NAPZA menjadi bagian penting dalam proses investigasi kasus kriminal, kecelakaan, atau pemeriksaan kepatuhan hukum seperti tes narkoba rutin. Oleh karena itu, validitas dan reliabilitas metode deteksi menjadi perhatian utama dalam pengembangan teknologi ini.

Berbagai jenis sampel biologis dapat digunakan dalam analisis NAPZA, seperti urin, darah, air liur, rambut, dan keringat. Setiap jenis sampel memiliki karakteristik unik, termasuk jangka waktu deteksi, tingkat keandalan, dan kemudahan dalam proses pengambilan. Misalnya, urin merupakan jenis sampel yang paling umum karena mudah diperoleh dan memiliki rentang deteksi yang relatif panjang untuk sebagian besar zat. Namun, dalam kasus tertentu, seperti deteksi jangka panjang atau evaluasi retrospektif, rambut menjadi alternatif yang lebih tepat.

Seiring dengan kemajuan di bidang teknologi analitik, berbagai metode deteksi NAPZA telah dikembangkan untuk meningkatkan kecepatan, akurasi, dan sensitivitas analisis. Beberapa teknik modern yang umum digunakan antara lain immunoassay, kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC), kromatografi gas (GC), serta spektrometri massa (MS) yang kerap digunakan dalam kombinasi dengan teknik kromatografi untuk meningkatkan spesifisitas dan sensitivitas deteksi. Tujuan utama dari bab ini adalah untuk menyajikan tinjauan komprehensif mengenai metode-metode deteksi NAPZA dalam berbagai sampel biologis, termasuk prinsip kerja masing-masing teknik, kelebihan dan keterbatasannya, serta aplikasinya dalam berbagai

konteks, baik klinis maupun forensik. Pemahaman mendalam terhadap teknik ini sangat penting bagi praktisi kesehatan, analis laboratorium, penegak hukum, dan peneliti yang terlibat dalam pengelolaan dan pengendalian penyalahgunaan NAPZA.

B. Jenis Sampel Biologis untuk Deteksi NAPZA

Dalam proses analisis dan deteksi keberadaan Narkotika, Psikotropika, dan Zat Adiktif lainnya (NAPZA), berbagai sampel biologis dari tubuh manusia dapat digunakan sebagai media uji. Setiap jenis sampel memiliki karakteristik tertentu yang memengaruhi sensitivitas, jangka waktu deteksi, metode pengambilan, serta efektivitasnya dalam konteks medis, forensik, atau monitoring rehabilitasi. Berikut ini adalah uraian mengenai jenis-jenis sampel biologis yang umum digunakan:

1. Urin

Urin merupakan jenis sampel yang paling banyak digunakan dalam pengujian NAPZA karena alasan praktis, biaya yang relatif rendah, dan sifat pengambilan yang tidak invasif. Urin memungkinkan deteksi zat atau metabolitnya dalam rentang waktu pendek hingga menengah, umumnya antara 1 hingga 7 hari tergantung pada jenis zat, dosis, dan frekuensi penggunaan. Deteksi

dilakukan berdasarkan adanya metabolit, bukan zat aktif itu sendiri, sehingga tidak selalu mencerminkan kondisi fisiologis pengguna saat itu. Kelemahannya adalah urin kurang efektif untuk mendeteksi penggunaan jangka panjang atau sangat baru (misalnya dalam beberapa jam setelah konsumsi), dan rentan terhadap manipulasi oleh individu yang dites.

2. Darah

Sampel darah memberikan gambaran yang lebih akurat tentang keberadaan zat aktif dalam sistem peredaran tubuh saat ini. Dengan kata lain, darah menunjukkan konsentrasi aktual dari NAPZA dan memberikan informasi penting tentang status farmakologis pengguna pada waktu pengambilan sampel. Namun, pengambilan darah bersifat invasif, memerlukan tenaga medis profesional, dan dapat menyebabkan ketidaknyamanan bagi pasien. Selain itu, beberapa zat cenderung mengalami metabolisme dan degradasi cepat dalam darah, sehingga waktu deteksinya lebih singkat, biasanya hanya dalam beberapa jam hingga satu hari setelah konsumsi.

3. Air liur

Air liur (saliva) merupakan alternatif non-invasif yang juga semakin banyak digunakan dalam deteksi NAPZA, terutama untuk screening lapangan

seperti pemeriksaan lalu lintas atau pemantauan pekerja. Zat-zat adiktif bisa muncul dalam saliva dalam waktu yang sangat singkat setelah konsumsi, menjadikannya ideal untuk mengidentifikasi penggunaan terkini. Meski demikian, kadar zat dalam air liur biasanya lebih rendah dibandingkan darah atau urin, sehingga memerlukan metode analitik yang sensitif. Faktor lain yang dapat memengaruhi adalah variabilitas produksi saliva dan potensi kontaminasi dari rongga mulut.

4. Rambut

Rambut digunakan untuk deteksi jangka panjang, karena senyawa kimia dari NAPZA yang telah dikonsumsi akan terperangkap dalam batang rambut seiring pertumbuhannya. Dengan kecepatan pertumbuhan rata-rata sekitar 1 cm per bulan, analisis rambut dapat mencerminkan pola penggunaan NAPZA selama minggu hingga beberapa bulan ke belakang. Namun, metode ini tidak cocok untuk mendeteksi penggunaan baru-baru ini, karena butuh waktu agar zat berpindah ke folikel rambut. Selain itu, rambut bisa mengalami kontaminasi eksternal, seperti dari lingkungan berasap narkoba, yang dapat mempersulit interpretasi hasil jika tidak dilakukan prosedur pencucian dan kontrol ketat.

5. Keringat

Keringat merupakan jenis sampel yang dapat digunakan dalam pemantauan berkelanjutan melalui alat seperti *sweat patch*, yang ditempelkan pada kulit selama beberapa hari hingga minggu. Teknik ini sering diterapkan dalam program rehabilitasi atau pengawasan hukum karena mampu merekam paparan terhadap NAPZA selama periode pemakaian alat. Namun, penggunaan keringat sebagai media deteksi masih kurang umum, karena adanya variasi dalam produksi keringat antar individu, serta kemungkinan kontaminasi dari luar. Selain itu, sensitivitas dan spesifisitasnya umumnya lebih rendah dibanding metode berbasis darah atau urin.

Tabel 2.1 Ringkasan Karakteristik Jenis Sampel Biologis

Jenis Sampel	Invasivitas	Rentang Deteksi	Kelebihan	Kekurangan
Urin	Non-invasif	Pendek-sedang (1–7 hari)	Mudah dikumpulkan, biaya rendah	Rentan manipulasi, tidak mendeteksi pemakaian baru
Darah	Invasif	Pendek (jam–1 hari)	Akurat, real-time	Perlu tenaga medis, cepat terdegradasi

Air Liur	Non-invasif	Sangat pendek (jam)	Mudah dan cepat	Kadar zat rendah, variabel
Rambut	Non-invasif	Panjang (minggu-bulan)	Deteksi kronis, arsip pola	Tidak deteksi pemakaian baru, risiko kontaminasi
Keringat	Non-invasif	Panjang (hari-minggu)	Pemantauan jangka panjang	Kurang umum, produksi tidak stabil

C. Metode Skrining Awal (*Preliminary Testing*)

Metode skrining awal berfungsi sebagai langkah pertama dalam proses deteksi Narkotika, Psikotropika, dan Zat Adiktif lainnya (NAPZA). Tujuan utamanya adalah untuk mengidentifikasi keberadaan dugaan zat adiktif secara cepat dan efisien, sebelum dilakukan konfirmasi lebih lanjut dengan metode yang lebih akurat. Meskipun metode skrining memiliki keunggulan dari segi kecepatan, kemudahan pelaksanaan, dan biaya rendah, teknik ini tidak selalu mampu membedakan jenis zat secara spesifik karena kemungkinan adanya reaksi silang dengan senyawa lain. Oleh sebab itu, hasil skrining yang positif wajib diuji ulang menggunakan metode konfirmasi berbasis spektrometri atau kromatografi.

1. Immunoassay (IA)

Termasuk teknik seperti EMIT (Enzyme Immunoassay merupakan metode berbasis biokimia yang mengandalkan interaksi spesifik antara antibodi dan antigen (dalam hal ini, molekul zat adiktif atau metabolitnya). Teknik ini dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis senyawa dengan sensitivitas yang relatif tinggi dalam sampel urin, darah, dan air liur.

Beberapa teknik immunoassay yang sering digunakan antara lain:

a. EMIT (*Enzyme Multiplied Immunoassay Technique*)

Mengukur aktivitas enzim yang berikatan dengan antigen, di mana konsentrasi zat target berbanding lurus dengan sinyal yang dihasilkan.

b. CEDIA (*Cloned Enzyme Donor Immunoassay*)

Menggunakan sistem pembelahan enzim untuk mendeteksi zat, berdasarkan pada pemulihan aktivitas enzim ketika antigen dan antibodi berinteraksi.

c. ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)

Salah satu metode *immunoassay* paling sensitif, digunakan secara luas dalam laboratorium klinik untuk mendeteksi jejak NAPZA.

Kelebihan utama metode immunoassay adalah kecepatan dan kemudahan penggunaannya, menjadikannya ideal untuk pengujian massal atau skrining awal. Namun, teknik ini juga memiliki keterbatasan berupa kurangnya spesifisitas, karena

antibodi yang digunakan dapat bereaksi dengan senyawa lain yang memiliki struktur kimia mirip, sehingga menimbulkan reaksi silang (cross-reactivity) dan potensi hasil positif palsu. Oleh karena itu, hasil dari IA harus dikonfirmasi dengan metode seperti GC-MS (*Gas Chromatography–Mass Spectrometry*) atau LC-MS/MS (*Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry*) untuk memastikan akurasinya.

2. *Lateral Flow Immunoassay* (Rapid Test)

Rapid test berbasis lateral flow immunoassay adalah bentuk penyederhanaan dari metode immunoassay konvensional. Alat ini dirancang untuk deteksi cepat dan praktis, biasanya digunakan dalam bentuk strip, kartu uji, atau perangkat kaset yang dapat digunakan tanpa peralatan laboratorium. Sampel biologis seperti urin atau air liur diteteskan ke perangkat, dan dalam waktu beberapa menit hasil akan terlihat melalui perubahan warna atau garis indikator.

Metode ini sangat cocok untuk penggunaan lapangan, seperti pada pemeriksaan di sekolah, tempat kerja, atau dalam operasi kepolisian. Keunggulannya terletak pada kemudahan penggunaan dan hasil yang dapat diperoleh dalam waktu singkat tanpa perlu keahlian laboratorium.

Namun, sensitivitas dan akurasi dari rapid test umumnya lebih rendah dibandingkan dengan metode immunoassay laboratorium. Selain itu, rapid test memiliki keterbatasan dalam hal deteksi

kuantitatif, sehingga tidak dapat menunjukkan kadar zat dalam tubuh secara pasti.

D. Metode Konfirmasi (*Confirmatory Testing*)

Dalam proses deteksi Narkotika, Psikotropika, dan Zat Adiktif lainnya (NAPZA), hasil skrining awal yang menunjukkan indikasi positif tidak dapat langsung dijadikan dasar keputusan, baik medis maupun hukum. Untuk memastikan kebenaran temuan tersebut, dibutuhkan pengujian lanjutan yang lebih akurat dan spesifik, yang dikenal sebagai metode konfirmasi. Teknik konfirmasi dirancang untuk mengeliminasi kemungkinan kesalahan hasil, seperti positif palsu akibat reaksi silang yang umum terjadi pada metode *immunoassay*.

Metode konfirmasi biasanya menggunakan prinsip kromatografi dan spektrometri, yang mampu mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi zat secara presisi, bahkan dalam kadar yang sangat rendah. Beberapa metode yang umum digunakan dalam pengujian konfirmasi meliputi GC-MS, HPLC, dan LC-MS/MS.

1. Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (GC-MS)

Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan metode konfirmasi yang dianggap sebagai standar emas (*gold standard*) dalam bidang toksikologi forensik dan laboratorium