

STUDI PERBANDINGAN ABSORPSI DAN EKSRESI ZAT BERACUN MELALUI INHALASI, ORAL, DAN DERMAL

Aryo Dwi Haryanto^{1*}, Suherman Jaksa², Andriyani²

^{1,2,3}Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Gedung A, Jln. K.H. Ahmad Dahlan, Kelurahan Cirendeui, Kecamatan Ciputat Timur, Kota Tangerang Selatan, Banten, 15419, Indonesia

E-mail: ¹⁾ aryodwi122@gmail.com, ²⁾ suherman@umj.ac.id

Abstract

Exposure to toxic substances or xenobiotics can occur through three main routes of entry into the body, namely inhalation (through breathing), oral (through the digestive tract), and dermal (through the skin). Each route has its own characteristics in terms of the speed and efficiency of absorption, distribution in the body, and the excretion process. Factors that influence the effectiveness of absorption and excretion include the type of chemical, dose, frequency and duration of exposure, and individual susceptibility based on age, gender, health status, and genetic factors. This literature review was compiled based on 16 scientific reference sources published in the period 2020–2025, both in the form of national journals, textbooks, and other scientific articles. The results of the study show that the inhalation route is the fastest and most efficient route for absorbing toxic substances into the circulatory system, mainly due to the large surface area of the alveoli and the thinness of the lung walls. The dermal route is a common route of exposure in the agricultural sector, especially when there is direct contact with pesticides without adequate protection. Meanwhile, the oral route shows slower absorption due to the complex digestion process and physiological barriers in the gastrointestinal tract. Excretion of toxic substances is carried out by various organs such as the kidneys (urine), liver (bile and feces), lungs (gas), and skin (sweat). This study emphasizes the importance of understanding the exposure pathways and excretion mechanisms of toxic substances in supporting efforts to prevent toxicological risks, especially for industrial workers and vulnerable groups such as children, pregnant women, and the elderly.

Keywords: *Exposure to toxic substances, inhalation, oral, dermal, absorption, excretion*

Abstrak

Paparan terhadap zat beracun atau xenobiotik dapat terjadi melalui berbagai jalur masuk ke dalam tubuh, yaitu jalur inhalasi, oral, dan dermal. Masing-masing jalur memiliki karakteristik berbeda dalam proses absorpsi dan ekskresi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor

Article history

Received: Juli 2025

Reviewed: Juli 2025

Published: Juli 2025

Plagiarism checker no 235

Prefix doi :

[10.8734/Nutricia.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Nutricia.v1i2.365)

Copyright : Author

Publish by : Nutricia



This work is licensed under a [creative commons attribution-noncommercial 4.0 international license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

seperti jenis bahan, dosis, durasi paparan dan kerentanan individu. Studi ini bertujuan untuk membandingkan ketiga jalur utama paparan zat beracun berdasarkan hasil kajian literatur dari berbagai sumber ilmiah dengan rentang tahun 2020-2025. Hasil kajian menunjukkan bahwa jalur inhalasi merupakan jalur paling cepat dan signifikan dalam penyerapan zat ke dalam sistem peredaran darah, terutama karena luas permukaan alveoli dan tipisnya membran paru-paru. Jalur dermal banyak dijumpai dalam kasus paparan pestisida, terutama tanpa penggunaan alat pelindung diri, sedangkan jalur oral menunjukkan absorpsi yang lambat karena proses pencernaan dan hambatan gastrointestinal. Proses ekskresi zat beracun dalam tubuh melibatkan organ-organ seperti ginjal, hati, paru-paru, kulit, dan saluran pencernaan, dengan efisiensi yang bergantung pada sifat fisiokimia zat serta kondisi fisiologis individu. Kajian ini menegaskan pentingnya pemahaman jalur paparan dalam pengendalian risiko toksikologi dan perlindungan kesehatan masyarakat, terutama bagi para pekerja industri dan kelompok rentan seperti anak-anak dan ibu hamil.

Kata Kunci: *Paparan zat beracun, inhalasi, oral, dermal, absorpsi, ekskresi*

PENDAHULUAN

Menurut Paracelsus Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1541) semua bahan adalah racun, dan tidak ada bahan tanpa racun, dan hanya dosis yang tepat yang membuat bahan menjadi tidak beracun (Berniyanti, 2020). Hal yang sama dilakukan pada Kegiatan industri dapat menyebabkan sejumlah bahan kimia yang asing bagi tubuh atau zat xenobiotik, seperti obat-obatan kimia, bahan tambahan makanan, pestisida, bahan kimia industri, dan polutan lingkungan. Zat-zat ini masuk ke dalam tubuh melalui berbagai jalur, termasuk paru-paru (Inhalasi), kulit(Dermal), dan saluran pencernaan(Oral).

Zat toksikan industri dapat berupa bahan kimia alami yang dimobilisasi melalui proses antropogenik atau bahan kimia yang dihasilkan dalam kegiatan antropogenik yang dilepaskan ke lingkungan, mencemari saluran air dan akuifer (yaitu lapisan batuan di bawah permukaan tanah yang mengandung air dan dapat mengalirkan air), tanah, udara, dan organisme. Kontaminan toksik industri dapat berupa pelarut organik, logam, pestisida, materi partikulat, gas, bahan radioaktif (radionuklida), dan campuran senyawa kimia yang kompleks.(Riana et al., 2023)

Berdasarkan (Shufyani et al., 2024) tingkat keparahan dapat bervariasi dari satu organ ke organ lain, juga di pengaruhi oleh berbagai faktor seperti usia, genetika, jenis kelamin, diet, kondisi fisiologis, dan status kesehatan makhluk hidup. Setiap jalur memiliki karakteristik khusus dalam hal kecepatan absorpsi, distribusi dalam tubuh, serta mekanisme ekskresi. Pengetahuan mengenai jalur masuk ini sangat penting dalam konteks toksikologi, kesehatan kerja, dan pengembangan strategi mitigasi paparan. Tujuan studi ini adalah membandingkan

ketiga jalur utama absorpsi zat beracun dalam tubuh dan menganalisis bagaimana perbedaan tersebut memengaruhi proses ekskresi dan absorpsi.

METODE

Studi ini disusun menggunakan metode *literatur review*. Sumber data penelitian yang digunakan yaitu dengan penelusuran jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian dan publikasi resmi menggunakan database google scholar. Kata kunci yang digunakan untuk penelusuran jurnal yaitu absorpsi zat beracun, ekskresi zat beracun, jalur paparan inhalasi, oral dan dermal. Kriteria dalam pencarian literatur ini yaitu jurnal publikasi 2020-2025, jurnal berbahasa indonesia, jurnal penelitian, buku ajar pembelajaran, buku, jurnal ber-ISSN, dapat diakses *fulltext*, jurnal publikasi dibawah tahun 2025.

HASIL DAN PEMBAHASAN

No	Penulis	Judul	Publikasi dan Tahun	Kesimpulan
1.	Ayathollah et al.	ANALISIS KADAR HIDROGEN SULFIDA DAN KELUHAN PERNAPASAN PADA PEMULUNG DI TPA PUUWATU KOTA KENDARI.	Jurnal Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan, 2021	Gas H ₂ S masuk ke tubuh terutama melalui inhalasi dan cepat diserap oleh paru-paru. Setelah itu, H ₂ S didistribusikan ke otak, hati, ginjal, pankreas, dan usus kecil. Paparan melalui udara jauh lebih efektif dibandingkan oral, sedangkan absorpsi melalui kulit sangat minimal.
2.	Legiawan, M. K., & Agustina, D.	Penerapan Teknologi Augmented Reality Sistem Eksresi Manusia Sebagai Media Pembelajaran Berbasis Android (Studi Kasus Ma Tanwiriyyah Cianjur)	Media Jurnal Informatika, 2021	Organ ekskresi meliputi ginjal, paru-paru, kulit, dan hati. Ginjal menghasilkan urin, paru-paru mengeluarkan CO ₂ dan uap air, kulit mengeluarkan keringat, dan hati menghasilkan getah empedu dari perombakan sel darah merah.
3.	Reraska & Wimpy,	HUBUNGAN KADAR ARSENIK TERHADAP MIKROALBUMIN	Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah	Paparan jangka panjang terhadap arsenik tingkat tinggi dapat menyebabkan kerusakan organ, termasuk organ ginjal. Ginjal

		DALAM URINE SEWAKTU PEROKOK AKTIF	STIKES Kendal, 2023	adalah organ yang mengeliminasi berbagai toksin termasuk arsenik anorganik yang masuk ke dalam tubuh. Salah satu pemeriksaan laboratorium yang berkaitan dengan fungsi ginjal adalah pemeriksaan mikroalbumin urine
4.	S.Susanti	BUKU AJAR TOKSIKOLOGI PANGAN	UNDIP Press Semarang, 2023	Tingkat toksisitas suatu zat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain, (1) konsentrasi toksin yang masuk, (2) jumlah dan kecepatan toksin yang terabsorpsi, (3) letak distribusi zat toksin, (4) sifat dari hasil metabolisme toksin dalam tubuh, (5) kemampuan toksin menembus membran sel, (6) jumlah dan lamanya zat toksin tersimpan dalam tubuh, (7) kecepatan tubuh dalam mengekskresi toksin.
5.	Azizah et al	Gambaran Kadar Hemoglobin Pada Petani Buah Jeruk Pengguna Pestisida Di Desa Karangwidoro Kecamatan Dau Kabupaten Malang	Borneo Journal Of Medical Laboratory Technology, 2023	Pestisida adalah zat kimia beracun yang digunakan di pertanian dan dapat masuk ke tubuh melalui mulut, pernapasan, dan kulit. Jalur masuk paling umum adalah kulit, terutama saat mencampur, menyemprot, atau membuang pestisida tanpa APD. Uap dan debu pestisida juga dapat terhirup, masuk ke darah melalui alveoli yang tipis.
6.	Untu et al.	Bioakumulasi Senyawa Xenobiotik	CV.PATRAM EDIAGRAFI NDOBANDUNG 2022	Merkuri dan arsen adalah logam berat beracun yang mudah diserap dan sulit dikeluarkan, sehingga dapat menumpuk di tubuh. Etil merkuri diserap hingga 95%, dan arsen anorganik lebih beracun. Dampaknya mencakup gangguan saraf, organ, dan kanker, tergantung dosis, durasi, dan kerentanan.
7.		TOKSISITAS LOGAM TIMBAL	Jurnal Kesehatan	Timbal masuk melalui inhalasi, ingesti, dan kulit. Sekitar 40%

	Putra et al.,	TERHADAP KESEHATAN DAN LINGKUNGAN	Medika Saintika, 2023	terhirup dan 5–10% tertelan diserap. Timbal dapat merusak hati dan sangat berbahaya bagi sistem saraf, terutama pada anak-anak.
8.	Iskandar et al.	Dampak Senyawa Beracun Terhadap Proses Metabolisme Seluler dan Kesehatan Manusia	Student Scientific Creativity Journal 2025	Paparan zat toksik seperti logam berat, pestisida, dan bahan kimia industri dapat mengganggu metabolisme, enzim, dan memicu stres oksidatif. Efeknya meliputi gangguan saraf, penyakit jantung, kanker, dan masalah reproduksi, tergantung dosis dan durasi paparan.
9.	Rachman et al.	Toksikologi Lingkungan	Arsy Media 2025	Paparan zat toksik dapat menyebabkan efek lokal atau sistemik, tergantung jenis bahan, jalur masuk, dosis, dan durasi paparan.
10.	Shufyani et al.	FARMAKOLOGI DASAR DAN KLINIK	PT MEDIA PUSTAKA INDO 2024	Evaluasi keamanan obat dan bahan kimia penting karena semua zat bisa menjadi racun pada dosis tertentu. Paparan kecil berulang dapat menyebabkan akumulasi, terutama jika ekskresinya lambat. Zat toksik umumnya menyerang organ vital seperti otak, hati, ginjal, dan jantung. Logam berat, fenol, alkohol, dan organoklorin memiliki toksisitas multiorgan.
11.	Lourrinx et al.	TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN	PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI (2022)	Paparan polutan seperti logam berat, pestisida, dan bahan kimia industri dapat menimbulkan gangguan akut atau kronis, tergantung dosis, durasi, dan jalur masuk. Lingkungan tercemar meningkatkan risiko penyakit, terutama pada anak-anak, ibu hamil, dan lansia. Efek toksik dapat terakumulasi dan meningkat dalam rantai makanan.
12.	Mallongi et al.	DAMPAK BAHAN KIMIA BERACUN DI	Gosyen Publishing 2023	Bahan kimia berbahaya seperti logam berat (Pb, Cd, Hg, As), PCB, dan limbah B3 berasal dari aktivitas

		PERAIRAN PADA KESEHATAN DAN SISTEM EKOLOGI		manusia dan alam. Kontaminasi dapat terjadi melalui air limbah, limpasan, dan kebocoran. Paparannya dapat menyebabkan gangguan saraf, kanker, kerusakan organ, dan gangguan metabolik.
13.	Iskandar et al.	Studi Toksikologi Biokimia : Dampak Senyawa Beracun Terhadap Proses Metabolisme Seluler dan Kesehatan Manusia	Student Scientific Creativity Journal 2025	Senyawa toksik seperti logam berat, pestisida, dan pelarut organik dapat merusak mitokondria, metabolisme, dan membran sel, terutama di hati dan ginjal. Paparan berulang meningkatkan risiko kanker dan gangguan saraf, tergantung dosis dan durasi.
14.	Batubara et al.	Mekanisme Detoksifikasi: Cara Sistem Ekskresi Melindungi Tubuh dari Racun Astrida	Invention: Journal Research and Education Studies 2025	Sistem ekskresi mendetoksifikasi tubuh melalui ginjal, hati, dan kulit. Ginjal menyaring toksin, hati memproses zat berbahaya dengan enzim P450, dan kulit mengeluarkan logam berat lewat keringat. Efisiensinya dipengaruhi oleh genetik, nutrisi, hidrasi, dan paparan toksin, sehingga pemantauan klinis diperlukan.
15.	Kurniawidjaja et al.	Konsep Dasar Toksikologi Industri	Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia 2021	Di tempat kerja, jalur inhalasi dan dermal merupakan jalur pajanan yang paling sering dijumpai. Namun, karena luas permukaan alveoli yang lebih besar ($\pm 140 \text{ m}^2$) daripada luas permukaan kulit ($\pm 1,5\text{--}2 \text{ m}^2$) dan tipisnya dinding alveoli ($\pm 0,5$ mikron) dibandingkan ketebalan kulit (1–2 mm), pajanan inhalasi lebih signifikan daripada pajanan dermal. Ingesti
16.	Putri et al.,	Toksikologi	CV HEI PUBLISHING	Dosis adalah jumlah zat (kimia, fisik, atau biologis) yang dapat memengaruhi organisme,

			INDONESIA 2024	semakin besar jumlahnya, semakin besar dampaknya. Dalam toksikologi, dosis dibagi menjadi lima tingkat yaitu Potensial dose, Applied dose, Internal dose, Delivered dose, Biologys effective dose
--	--	--	-------------------	---

Hasil dari 16 sumber literatur menunjukkan bahwa paparan zat beracun dapat melalui saluran pernapasan (inhalasi), melalui mulut (oral) dan melalui kontak kulit (dermal) untuk mengetahui perbandingan absorpsi dan ekskresi dari setiap jalur terdapat beberapa faktor yang mempengaruhinya, berdasarkan (Rachman et al.), (Lourrinx et al.), (Iskandar et al.) dan (Untu et al.) jenis bahan, jalur masuk, dosis, durasi, dan kerentanan individu merupakan yang mempengaruhi absorpsi dan ekskresi zat beracun di dalam tubuh. Kemudian untuk paparan bahan beracun lebih sering terjadi di tempat kerja, jalur inhalasi dan dermal merupakan jalur pajanan yang paling sering dijumpai. Namun, karena luas permukaan alveoli yang lebih besar ($\pm 140 \text{ m}^2$) daripada luas permukaan kulit ($\pm 1,5\text{--}2 \text{ m}^2$) dan tipisnya dinding alveoli ($\pm 0,5$ mikron) dibandingkan ketebalan kulit (1–2 mm), pajanan inhalasi lebih signifikan daripada pajanan dermal. (Kurniawidjaja et al.)

Berdasarkan (Kurniawidjaja et al.) menyebutkan semakin tinggi konsentrasi toksikan, potensi pajanan terhadap toksikan tersebut menjadi semakin besar pula. Hal yang sama juga dijelaskan oleh (Susanti, S), (Lourrinx et al.) , (Rachman et al.) , bahwa konsentrasi zat toksin yang tinggi dalam tubuh akan memengaruhi frekuensi dan intensitas respon biologis, baik secara lokal maupun sistemik. Peningkatan konsentrasi paparan akan memperbesar jumlah zat yang diabsorpsi oleh tubuh, mempercepat distribusi sistemik, serta berpotensi meningkatkan akumulasi dalam organ-organ vital seperti hati, ginjal, dan sistem saraf pusat. Oleh karena itu, konsentrasi menjadi salah satu indikator utama dalam menentukan tingkat risiko toksikologis suatu zat.

Jenis bahan dan jalur masuk beberapa bahan beracun memiliki perbedaan masing-masing, seperti hasil penelitian (Ayathollah et al.) gas H_2S (Hidrogen Sulfida) yang lebih cepat diabsorpsi oleh tubuh melalui inhalasi, sedangkan penyerapan melalui kulit sangat kecil, dan paparan

melalui oral jauh lebih lambat dan jarang terjadi. Menurut (Putra et al.) timbal dapat masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi, ingestsi, dan kontak kulit. Inhalasi adalah jalur utama dan efisien untuk masuknya timbal ke dalam tubuh sekitar 40% timbal yang terhirup dapat diserap melalui saluran pernapasan, sementara 5–10% dari timbal yang tertelan diserap melalui saluran pencernaan (ingesti) dan untuk kontak kulit paparan timbal tidak signifikan kecuali untuk senyawa timbal organik.

Pestisida zat kimia yang sering digunakan di sektor pertanian menurut (Azizah et al.) kulit merupakan jalur paling umum masuknya pestisida, terutama saat proses mencampur, menyemprot, dan membuang pestisida tanpa penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) seperti sarung tangan, baju pelindung, atau masker, pestisida dapat terserap melalui kulit, terutama di area yang lembab atau berkeringat. kemudian keracunan pestisida dapat melalui pernafasan terjadi saat menghirup uap, gas, debu yang mengandung partikel pestisida. Partikel gas pestisida sangat berbahaya karena dapat masuk ke paru-paru dan diserap cepat melalui alveoli, yang memiliki epitel sangat tipis dan kaya pembuluh darah. Untuk jalur mulut terjadi secara tidak sengaja, seperti makan atau minum tanpa mencuci tangan setelah kontak dengan pestisida, atau mengonsumsi makanan yang terkontaminasi.

dosis yaitu seberapa sering seseorang terpajan toksikan. Paparan tunggal cenderung menimbulkan efek akut, sedangkan paparan berulang berpotensi menimbulkan efek subkronis atau kronis. Frekuensi paparan memengaruhi tingkat toksisitas, meskipun jumlah total paparan sama (Kurniawidjaja et al., 2021) . Dalam toksikologi, dosis dapat merujuk pada jumlah agen berbahaya (seperti racun, karsinogen, mutagen ataupun teratogen) yang dipaparkan ke organisme. Dosis terdiri dari potensial dose, applied dose, internal dose, delivered dose, biologys effective dose.(Putri et al., 2024)

Durasi paparan adalah lamanya waktu seseorang terpajan toksikan dan sangat berpengaruh terhadap jenis efek toksik yang timbul. Paparan jangka pendek (akut) bisa menyebabkan efek berbeda dari paparan jangka panjang (kronik), meskipun oleh zat yang sama. Durasi dibagi menjadi akut (<24 jam), subakut (<1 bulan), subkronik (1–3 bulan), dan kronik (>3 bulan), baik dalam studi toksikologi hewan maupun manusia. Paparan bisa bersifat tunggal atau

berulang, dengan efek toksik yang berbeda tergantung lamanya paparan. (Kurniawidjaja et al., 2021)

kerentanan individu menurut (Kurniawidjaja et al., 2021) Sensitivitas dan variasi individu menyebabkan perbedaan respons terhadap paparan meskipun dosisnya sama. Faktor yang memengaruhinya yaitu usia, jenis kelamin, genetik, pola makan, status gizi, dan kondisi kesehatan. Bayi, anak-anak, wanita, penderita gangguan genetik, serta orang dengan status nutrisi dan kesehatan buruk cenderung lebih rentan terhadap efek toksik. Berdasarkan (Rachman et al.) Faktor internal merujuk pada karakteristik biologis atau fisiologis individu yang terpapar zat beracun yang meliputi usia, jenis kelamin, genetika, kondisi fisiologi dan kesehatan serta kondisi imunitas. Hasil dari penelitian (Putra et al.) menyebutkan bahwa, timbal dapat memengaruhi seluruh organ tubuh manusia, dengan sistem saraf sebagai target utama. Bayi, anak-anak, dan wanita hamil merupakan kelompok paling rentan. Anak-anak lebih sensitif terhadap toksisitas timbal karena jaringan tubuh mereka masih lunak dan berkembang, sehingga paparan pada konsentrasi rendah dapat menimbulkan dampak serius.

Kemudian ekskresi zat beracun ekskresi merupakan tahap akhir dalam proses ADME (Absorpsi, Distribusi, Metabolisme, dan Ekskresi) yang berperan penting dalam mengeluarkan zat beracun atau metabolitnya dari tubuh. Efisiensi ekskresi menentukan lamanya zat berada dalam tubuh dan potensi toksisitasnya. Jalur utama ekskresi meliputi ginjal (urin), hati (empedu dan feses), paru-paru (pernapasan), serta jalur minor seperti kelenjar keringat, air liur, dan ASI. Setiap jalur memiliki karakteristik spesifik tergantung pada sifat kimia zat tersebut, seperti kelarutan air atau lemak. (Rachman et al.) dan (Kurniawidjaja et al., 2021). Menurut (Batubara et al., 2025) terdapat faktor yang mempengaruhi ekskresi seperti organ kulit Aktivitas fisik dan suhu lingkungan kemudian paru paru Kapasitas vital paru, polusi udara dapat mempengaruhi ekskresi tubuh pada zat beracun.

Fungsi berbagai organ ekskresi dapat digambarkan secara singkat Ginjal membuat urin, Paru-paru mengekskresikan segala macam gas dalam udara ekspirasi, Kelenjar keringat, air susu, ludah, empedu untuk ekskresi berbagai cairan yang khas, Usus mengekskresikan padatan, dilakukan dengan proses sekresi oleh saluran pencernaan. Logam, misalnya, biasanya diekskresikan lewat usus, Organ uro-genital dapat mengeluarkan zat yang tidak terpakai lewat

urin dan sekretnya, Rambut, kuku menyimpan berbagai logam, dan pada saat ia rontok atau dipotong, maka zat tadi akan ikut terbuang. Misalnya, yang sering diekskresikan lewat rambut adalah logam merkuri dan arsen.

KESIMPULAN

Paparan zat beracun dapat terjadi melalui tiga jalur utama: inhalasi (pernapasan), oral (mulut), dan dermal (kulit). Tingkat absorpsi dan ekskresi zat beracun dari masing-masing jalur dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis bahan, jalur masuk, dosis, durasi paparan, serta kerentanan individu. Dari ketiga jalur tersebut, inhalasi dan dermal merupakan jalur paparan yang paling umum di lingkungan kerja. Namun, karena struktur alveoli paru yang luas dan tipis, paparan melalui inhalasi cenderung lebih signifikan dibandingkan dermal. Konsentrasi toksikan menjadi faktor kunci yang menentukan tingkat respon biologis dan risiko toksikologis, karena konsentrasi yang tinggi meningkatkan jumlah absorpsi, mempercepat distribusi, dan meningkatkan akumulasi zat dalam organ vital. Jenis bahan beracun juga memiliki jalur masuk yang berbeda-beda. Misalnya, gas H₂S lebih cepat diserap melalui inhalasi, sedangkan timbal terutama masuk melalui inhalasi dan oral. Sementara itu, pestisida umumnya masuk melalui kulit, terutama bila tidak menggunakan alat pelindung diri (APD).

Dosis dan durasi paparan berpengaruh terhadap jenis dan tingkat toksisitas. Paparan tunggal dapat menyebabkan efek akut, sementara paparan berulang dapat memicu efek subkronis atau kronis. Dosis mencakup berbagai tingkat, mulai dari dosis potensial hingga dosis efektif biologis. Kerentanan individu juga sangat penting, di mana faktor seperti usia, jenis kelamin, genetik, status gizi, dan kondisi kesehatan mempengaruhi seberapa besar risiko toksikologis yang dialami. Anak-anak, bayi, dan wanita hamil merupakan kelompok yang paling rentan terhadap paparan zat beracun seperti timbal.

Dalam proses ekskresi, tubuh membuang zat beracun melalui jalur seperti ginjal (urin), hati (empedu/feses), paru-paru (pernapasan), dan jalur minor (keringat, air liur, dan ASI). Efisiensi ekskresi bergantung pada sifat kimia zat, aktivitas organ ekskretoris, kondisi fisik individu, serta faktor lingkungan seperti suhu dan polusi udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayathollah, A., Alchamdani, & Waldah, A. (2021). Analisis Kadar Hidrogen Sulfida Dan Keluhan Pernapasan Pada Pemulung Di Tpa Puuwatu Kota Kendari. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Lingkungan Dan Pembangunan*, 22(01), 1–15. <https://doi.org/10.21009/plpb.221.01>
- Azizah, D. S., Faisa, F., & Fatmawati, D. N. (2023). Gambaran Kadar Hemoglobin Pada Petani Buah Jeruk Pengguna Pestisida Di Desa Karangwidoro Kecamatan Dau Kabupaten Malang. *Borneo Journal of Medical Laboratory Technology*, 6(1), 456–465. <https://doi.org/10.33084/bjmlt.v6i1.6088>
- Batubara, A. J. A., Situmorang, I., Nasution, I. R., & Dumaria, N. (2025). Mekanisme Detoksifikasi : Cara Sistem Ekskresi Melindungi Tubuh dari Racun. *Invention: Journal Research and Education Studies*, 6(3), 184–190.
- Berniyanti, T. (2020). BIOMARKER TOKSISITAS PAPARAN LOGAM TINGKAT MOLEKULER. In *AIRLANGGA UNIVERSITY PRESS* (Vol. 11, Issue 1). http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TE RPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Iskandar, D. V., Juwitasari, K. S., Pasha, E. I., Sari, E. T., & Arini, L. D. D. (2025). Studi Toksikologi Biokimia : Dampak Senyawa Beracun Terhadap Proses Metabolisme Seluler dan Kesehatan Manusia. *Student Scientific Creativity Journal*.
- Kurniawidjaja, L. M., Lestari, F., Tejamaya, M., & Ramdhan, D. H. (2021). Konsep Dasar Toksikologi Industri. In *Fkm Ui*.
- Lourrinx, E., Mulyani, W., Susilowati, D., Paramita, P., Darmayani, S., Iswati, T. Y., Handoko, L., Nur, S., Musa, B., Rustiah, W., Daryanto, T. J., Hardiana, A., & Mamede, M. (2022). *Toksikologi lingkungan*. PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI.
- Mallongi, A., Astuti, R. D. P., Rauf, A. U., & Ernyasih. (2023). *DAMPAK BAHAN KIMIA BERACUN DI PERAIRAN PADA KESEHATAN DAN SISTEM EKOLOGI*. PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI.
- Putra, A., Fitri, W. E., & Febria, F. A. (2023). TOKSISITAS LOGAM TIMBAL TERHADAP KESEHATAN DAN LINGKUNGAN: LITERATUR REVIEW TOXICITY OF LEAD METAL TO HEALTH AND ENVIRONMENT: A LITERATURE REVIEW. *Jurnal Kesehatan Medika Saintika*, Volume 14, 158–174.
- 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*, 1–23.
- Rachman, R. M., Hidayat, A., Masgode, M. B., Patiku, Y., & Sandra, G. (2025). Toksikologi Lingkungan. *Arsy Media*.
- Reraska, & Wimpy. (2023). Jurnal Ilmiah Permas : Jurnal Ilmiah STIKES Kendal. *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah STIKES Kendal Volume 13 Nomor 4, Oktober 2023 e-ISSN 2549-8134; p-ISSN 2089-0834* Http://Journal.Stikeskendal.Ac.Id/Index.Php/PSKM_HUBUNGAN, 13, 1427–1436.
- Riana, E. N., Ischak, N. I., Hrp, C. L. F., Ayudia, E. I., Khairani, I. A., Lubis, N. A., Prabandari, A.

- S., Miftahurrahmah, Sari, M. S., Mulyana, J. S., & Isdaryanti. (2023). Toksikologi Dasar. In *Yayasan Kita Menulis*.
- Shufyani, F., Ardiyantoro, B., Brata, A., Estiningsih, D., Nurul Kusumawardani, S. M. W., Halimatussa'diyah, Fadhillah, H., Sya'diah, Y., Harahap, V. . I., Ardiani, R., Agusrian, Tangka, J., Ananda, D. S., Jannah, F., & Supriadi. (2024). *BUNGA RAMPAI FARMAKOLOGI DASAR DAN KLINIK*. PT MEDIA PUSTAKA INDO.
- Susanti, S. (2023). Buku Ajar Toksikologi Pangan. In *UNDIP Press Semarang*.
<https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Untu, I. M., Rarumangkay, J., & Kowel, Y. H. S. (2022). *Bioakumulasi Senyawa Xenobiotik*. CV. PATRA MEDIA GRAFINDO BANDUNG.
- Legiawan, M. K., & Agustina, D. (2021). Penerapan Teknologi Augmented Reality Sistem Eksresi Manusia Sebagai Media Pembelajaran Berbasis Android (Studi Kasus Ma Tanwiriyyah Cianjur). *Media Jurnal Informatika*, 13(1), 17-25.