

Pengantar TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

Tim Penulis:
Apriyani
Musdalifah
Agus Putra Murdani
Shabrina Vashtinia Putri Tryanda
Rahmawati
Riska Melanie
Denisius Umbu Pati
Indira Pipit Miranti
Serlly Frida Drastyana
Ayu Mardian

Editor : Sitti Aisyah Jamaluddin



PENGANTAR TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

**Apriyani
Musdalifah
Agus Putra Murdani
Shabrina Vashtinia Putri Tryanda
Rahmawati
Riska Melanie
Denisius Umbu Pati
Indira Pipit Miranti
Serlly Frida Drastyana
Ayu Mardian**

PENGANTAR TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

Tim Penulis:

Apriyani
Musdalifah
Agus Putra Murdani
Shabrina Vashtinia Putri Tryanda
Rahmawati
Riska Melanie
Denisius Uumbu Pati
Indira Pipit Miranti
Serlly Frida Drastyana
Ayu Mardian

Editor : Sitti Aisyah Jamaluddin, M.K.M.
Tata Letak : Asep Nugraha, S.Hum.
Desain Cover : Septimike Yourintan Mutiara, S.Gz.
Ukuran : UNESCO 15,5 x 23 cm
Halaman : vii, 155
ISBN : 978-634-7021-17-5
Terbit Pada : Januari 2025
Anggota IKAPI : No. 073/BANTEN/2023

Hak Cipta 2025 @ Sada Kurnia Pustaka dan Penulis

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

PENERBIT PT SADA KURNIA PUSTAKA

Jl. Warung Selikur Km.6 Sukajaya – Carenang, Kab. Serang-Banten
Email : sadapenerbit@gmail.com
Website : sadapenerbit.com & repository.sadapenerbit.com
Telpon/WA : +62 838 1281 8431

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya buku *Pengantar Toksikologi Lingkungan* ini. Buku ini dirancang untuk memberikan wawasan dasar mengenai toksikologi lingkungan kepada mahasiswa, peneliti, praktisi, serta pembaca yang memiliki minat terhadap isu-isu lingkungan. Toksikologi lingkungan adalah cabang ilmu yang mempelajari dampak zat-zat berbahaya terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Dalam era modern, dengan meningkatnya aktivitas industri, penggunaan bahan kimia, dan urbanisasi, pemahaman tentang toksikologi lingkungan menjadi semakin penting. Buku ini berisi tentang berbagai aspek yang berkaitan dengan toksikologi lingkungan.

Buku ini terdiri dari beberapa bab yang dimulai dengan pembahasan tentang konsep dasar toksikologi lingkungan, sumber dan jenis polutan lingkungan, jalur paparan dan risiko kesehatan, mekanisme toksisitas pada organisme hidup, efek biologis zat toksik, biokumulasi dan biotransformasi, dampak toksikologi lingkungan terhadap kesehatan, pencemaran lingkungan, dampak polusi ekosistem, serta pengembangan komunitas dalam penanggulangan dampak toksikologi lingkungan. Dengan adanya pembahasan bab yang terintegrasi, buku ini bertujuan untuk memberikan wawasan tentang pengantar toksikologi lingkungan bagi berbagai kelompok masyarakat seperti peneliti, mahasiswa dan yang berprofesi dibidang kesehatan lingkungan maupun masyarakat secara umum.

Kami berusaha menghadirkan buku ini dengan gaya penulisan yang sederhana namun tetap ilmiah, dilengkapi dengan contoh kasus nyata, tabel, dan ilustrasi untuk mempermudah pemahaman pembaca. Harapan kami, buku ini dapat menjadi landasan yang kuat bagi pembaca untuk mendalami topik toksikologi lingkungan dan berkontribusi dalam upaya melindungi lingkungan kita.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada semua pihak yang telah mendukung penyusunan buku ini, termasuk para kolega, peneliti, dan mahasiswa yang memberikan masukan berharga. Kami menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kami terbuka untuk kritik dan saran demi penyempurnaan di edisi berikutnya. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi semua pembaca dan mendorong peningkatan kesadaran serta tanggung jawab terhadap lingkungan.


Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BAB 1 KONSEP DASAR TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN	1
Prinsip Dasar Toksikologi.....	2
Toksikologi Lingkungan	5
Sistem Pertahanan Pada Manusia.....	10
Daftar Pustaka	12
Profil Penulis	13
BAB 2 SUMBER DAN JENIS POLUTAN LINGKUNGAN	14
Pendahuluan	15
Pengertian dan Klasifikasi Polutan	15
Sumber-sumber Polutan Lingkungan	16
Jenis-jenis Polutan.....	18
Dampak Polutan Lingkungan.....	24
Upaya Pengendalian Polutan	26
Daftar Pustaka.....	27
Profil Penulis	29
BAB 3 JALUR PAPANAN DAN RISIKO KESEHATAN.....	30
Definisi Jalur Paparan	31
Faktor-faktor yang Memengaruhi Paparan Seseorang terhadap Suatu Bahan atau Zat	31
Jenis-jenis Jalur Paparan	33
Faktor-faktor yang Mempengaruhi Tingkat Paparan	34
Risiko Kesehatan dari Setiap Jalur Paparan.....	38
Upaya Pengendalian dan Pencegahan Paparan	40
Daftar Pustaka.....	43
Profil Penulis.....	45
BAB 4 MEKANISME TOKSISITAS PADA ORGANISME HIDUP	46
Pendahuluan	47
Jalur Masuk Zat Toksik.....	48
Distribusi Zat Toksik.....	51
Mekanisme Toksisitas	52

Biotransformasi.....	53
Bioakumulasi	55
Dampak Toksisitas pada Organisme Hidup.....	57
Daftar Pustaka.....	58
Profil Penulis.....	59
BAB 5 EFEK BIOLOGIS ZAT TOKSIK.....	60
Pendahuluan	61
Efek toksik pada tingkatan sel.....	61
Efek Toksik pada Enzim	63
Efek Toksik pada Materi Genetik	64
Efek Toksik pada Organ Target.....	67
Daftar Pustaka.....	72
Profil Penulis.....	74
BAB 6 BIOAKUMULASI DAN BIOTRANSFORMASI	75
Definisi Bioakumulasi dan Biotransformasi	76
Bioakumulasi dan Biotransformasi dalam Toksikologi Lingkungan	77
Faktor-faktor yang Mempengaruhi Bioakumulasi	78
Lokasi Biotransformasi.....	82
Beberapa Contoh Kasus Bioakumulasi Xenobiotika di Lingkungan	83
Upaya Penggunaan Bioakumulasi dan Biotransformasi untuk Menanggulangi Polutan Xenobiotika	84
Daftar Pustaka.....	86
Profil Penulis.....	88
BAB 7 DAMPAK TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN TERHADAP KESEHATAN.....	89
Terminologi Toksikologi.....	90
Ruang lingkup Toksikologi.....	91
Tujuan Toksikologi Lingkungan	95
Pengertian Toksikologi Lingkungan.....	97
Toksikologi Lingkungan Terhadap Kesehatan	100
Daftar Pustaka.....	103
Profil Penulis.....	104
BAB 8 PENCEMARAN LINGKUNGAN	105
Definisi Pencemaran Lingkungan	106

Macam Pencemaran Lingkungan	106
Daftar Pustaka	116
Profil Penulis	120
BAB 9 DAMPAK POLUSI PADA EKOSISTEM	121
Ekosistem	122
Dampak Polusi Udara Terhadap Ekosistem	122
Dampak Polusi Air Terhadap Ekosistem	124
Dampak Polusi Tanah Terhadap Ekosistem	125
Dampak Polusi Cahaya Terhadap Ekosistem	127
Dampak Polusi Suara Terhadap Ekosistem	127
Dampak Polusi Panas Terhadap Ekosistem.....	128
Dampak Polusi Logam Berat Terhadap Ekosistem	128
Dampak Polusi Radioaktif Terhadap Ekosistem	129
Dampak Polusi Visual Terhadap Ekosistem	130
Daftar Pustaka	131
Profil Penulis	133
BAB 10 PENGEMBANGAN KOMUNITAS DALAM PENANGGULANGAN DAMPAK TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN	134
Pendahuluan	135
Relevansi dalam Toksikologi Lingkungan	136
Peran Komunitas dalam Identifikasi dan Pengurangan Risiko	137
Pendekatan Kolaboratif antara Pemerintah, Lembaga, dan Komunitas	140
Model Pengembangan Komunitas dalam Konteks Penanggulangan Toksikologi Lingkungan.....	143
Evaluasi dan Pengukuran Keberhasilan dalam Pengembangan Komunitas untuk Penanggulangan Toksikologi Lingkungan.	146
Daftar Pustaka	151
Profil Penulis	155




BAB 1

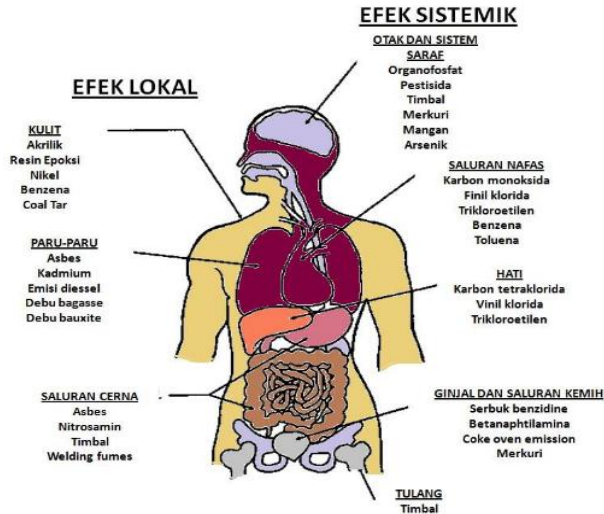
KONSEP DASAR

TOKSIKOLOGI

LINGKUNGAN

Apriyani, S.KM., M.P.H.
Universitas Widya Gama Mahakam Samarinda





Gambar 1.1 : Efek Lokal dan Sistemik dari Toksik

Sumber : Irianti et al., (2017)

Efek toksik yang ditimbulkan oleh suatu senyawa asing (*xenobiotik*) dapat bervariasi secara signifikan, tergantung pada sejumlah faktor seperti target organ yang diserang, mekanisme kerja senyawa tersebut, serta besarnya dosis yang masuk ke dalam tubuh. Dalam beberapa kasus, efek toksik bersifat lokal, artinya dampak racun terbatas pada area tubuh yang terpapar langsung, seperti iritasi kulit, luka bakar akibat bahan kimia, atau kerusakan jaringan pada titik kontak. Sebaliknya, efek toksik dapat bersifat sistemik, dimana senyawa beracun menyebar melalui aliran darah dan memengaruhi berbagai organ atau sistem tubuh, seperti hati, ginjal, sistem saraf, atau sistem pernapasan. Mekanisme aksi *xenobiotik* juga berperan penting, misalnya dengan menghambat enzim tertentu, merusak DNA, atau mengganggu proses metabolik vital dalam tubuh (Lourrinx et al., 2022).

Toksikologi Lingkungan

Keberlangsungan hidup manusia dan organisme lainnya di lingkungan dapat terancam akibat adanya berbagai sisa zat kimia yang bersifat mengganggu atau bahkan beracun, yang sering kali merupakan hasil

Sistem pertahanan tubuh adalah mekanisme kompleks yang berfungsi untuk melindungi tubuh dari serangan patogen seperti virus, bakteri, jamur, dan parasit, serta dari berbagai ancaman lainnya, seperti racun atau bahan berbahaya. Sistem ini bekerja dengan cara mendeteksi, menyerang, dan menghilangkan agen asing yang masuk ke dalam tubuh untuk mencegah terjadinya infeksi atau kerusakan lebih lanjut (Yulianto & Amaloyah, 2017). Berdasarkan cara tubuh dalam mempertahankan diri, sistem pertahanan tubuh digolongkan menjadi dua jenis utama: 1) sistem pertahanan non-spesifik (atau imun bawaan) yang bertindak segera dan melibatkan mekanisme seperti kulit, sel darah putih, dan reaksi inflamasi untuk menghadapi infeksi secara umum tanpa membedakan jenis patogen. Sementara itu, 2) sistem imun spesifik bekerja dengan mengenali patogen tertentu dan menghasilkan respons yang lebih terarah dan kuat, termasuk produksi antibodi untuk menghancurkan patogen tersebut, yang juga memungkinkan tubuh untuk mengingat patogen tersebut jika terpapar lagi di masa depan.

Jenis kekebalan tubuh manusia dibagi menjadi dua, 1) kekebalan aktif, yang terbentuk ketika tubuh menghasilkan antibodi setelah terpapar patogen atau vaksin, memberikan perlindungan jangka panjang serta 2) kekebalan pasif, diperoleh melalui pemberian antibodi dari luar tubuh, memberikan perlindungan sementara tanpa memori imunologi. Tetapi, gangguan pada sistem pertahanan tubuh meliputi alergi, di mana sistem imun bereaksi berlebihan terhadap zat asing, serta autoimunitas, yang terjadi ketika sistem imun menyerang sel tubuh sendiri. Selain itu, AIDS (*Acquired Immunodeficiency Syndrome*) disebabkan oleh virus HIV yang melemahkan sistem kekebalan tubuh, meningkatkan kerentanannya terhadap infeksi. Maka, toksikologi lingkungan mempelajari dampak bahan kimia dan polutan terhadap organisme dan ekosistem, serta bagaimana interaksi tersebut mempengaruhi kesehatan manusia dan keberlanjutan lingkungan.

Daftar Pustaka

- Ali, H., Nurmayanti, D., Rasyid, N. Q., Islawati, Elsa, L., Prianti, I. A., Aprianie, W., Mahdang, P. A., Kandari, A. M., Khambali, Rachmaniyah, Ula, M., & Muawanah. (2024). *Toksikologi Lingkungan dan Industri*. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Haryanto, Yusuf, M., Rahayu, M., Rahimah, S., Muzayyidah, Salampe, M., Awaluddin, A., Angka, R. N., Ismail, Sudirman, M. R., Iqbah, I. P., & Ardiansyah, R. T. (2023). *Toksikologi Dasar*. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Herniwanti. (2021). *Toksikologi Lingkungan*. Pekanbaru: Stikes Hang Tuah Press.
- Irianti, T. T., Sugiyanto, Kuswandi, & Nuranto, S. (2017). *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta: UGM Press.
- Lourrinx, E., Mulyani, W., Susilowati, D., Paramita, P., Satya, M., Tri, D., Iswati, Y., Lukman, M., Nur, S., Handoko, Bulkis, N., Waode, M., Tri, R., Daryanto, J., Hardiana, A., & Mamede, M. (2022). *Toksikologi Lingkungan*. Padang: PT Global Eksekutif Teknologi. www.globaleksekutifteknologi.co.id
- Riana, E. N., Ischak, N. I., Harahap, 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*. Medan: Penerbit Yayasan Kita Menulis.
- Rosyidah, M. (2016). Polusi Udara dan Kesehatan. *Jurnal Teknik Industri*, 1(11), 5–8.
- Sompotan, D. D., & Sinaga, J. (2022). Pencegahan Pencemaran Lingkungan. *SAINTEKES: Jurnal Sains, Teknologi Dan Kesehatan*, 1(1), 6–13. <https://doi.org/10.55681/saintekes.v1i1.2>
- Tauleka, A. R. (2013). *Toksikologi dan Risk Assessment*. Graha Ilmu Mulia.
- Yulianto, & Amaloyah, N. (2017). *Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan: Toksikologi Lingkungan*. Jakarta: Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan.

PROFIL PENULIS



Apriyani, SKM.,M.P.H

Apriyani, SKM.,MPH dilahirkan di Kabupaten Soppeng Provinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 04 April 1991, yang merupakan putri kedua dari pasangan Bapak Abd Rauf dan Ibu Nuhare. Suami penulis yaitu Samsuriadi. Penulis menempuh S1 di Program Studi Kesehatan Masyarakat Universitas Mulawarman, penulis memilih peminatan Kesehatan Lingkungan (2009-2013).

Kemudian melanjutkan S2 Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada, dengan peminatan Kesehatan Lingkungan (2014-2016).

Penulis mulai bekerja sebagai Dosen pada tahun 2017 di Universitas Widya Gama Mahakam Samarinda. Selain sebagai dosen, penulis juga memiliki pengalaman di struktural yaitu sebagai Sekretaris Program Studi Kesehatan Masyarakat dan sebagai Wakil Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat. Selain itu, penulis juga pernah menjadi pengelola salah satu jurnal penelitian kesehatan masyarakat yang terakreditasi Sinta 4. Penulis juga aktif dalam kegiatan tridharma, rutin melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian, dimana *output* dari kegiatan tersebut di submit ke jurnal. Artikel ilmiah penulis yang telah terbit ada di berbagai jurnal terakreditasi dan juga aktif dalam penyusunan Buku Referensi dan *Book Chapter*. Selain itu, penulis juga aktif dalam organisasi profesi yaitu Ikatan Ahli Kesehatan Masyarakat Indonesia (IAKMI). Penulis pernah mengampu mata kuliah seperti Dasar Kesehatan Lingkungan, Penyediaan Air Bersih, *International Public Health Issue*, Pengendalian Vektor dan Binatang Pengganggu, Seminar Kesehatan Lingkungan, dan Pencemaran Lingkungan.

Email Penulis: riri.april4491@gmail.com



BAB 2

SUMBER DAN JENIS

POLUTAN LINGKUNGAN

Musdalifah, S.KM., M.KL.
Universitas Hasanuddin



Pendahuluan

Permasalahan pencemaran lingkungan saat ini bukanlah sesuatu hal yang baru, namun terus berlanjut dengan tingkatan kompleksitas permasalahan yang berbeda. Lingkungan yang sudah tercemar akan mengalami penurunan kualitas. Pencemaran lingkungan dapat disebabkan oleh tercampurnya lingkungan oleh suatu komponen atau senyawa. Komponen atau senyawa yang mencemari lingkungan disebut dengan polutan (Robinson & Culhane, 2020).

Polutan lingkungan adalah agen yang berdampak buruk pada lingkungan alam, menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia dan ekosistem. Polutan dapat tetap ada di lingkungan dalam waktu yang cukup lama dan menyebabkan kerusakan lingkungan yang meluas. Aktivitas industri, praktik pertanian, transportasi, dan pengelolaan limbah yang tidak tepat merupakan penyebab polusi. Tubuh menyerap kontaminan lingkungan melalui konsumsi, inhalasi, dan penyerapan kulit (Sharma AK, 2023).

Masalah kesehatan mulai dari penyakit fisik hingga gangguan mental dapat disebabkan oleh polutan lingkungan. Paparan terhadap lingkungan yang tercemar juga terbukti berdampak negatif pada kesehatan mental, termasuk gejala depresi, kecemasan, dan gangguan kognitif. Orang dengan kondisi kesehatan yang sudah ada sebelumnya, anak-anak, wanita hamil, lansia, dan penyandang disabilitas mungkin sangat rentan terhadap dampak buruknya (R. Fuller, et al.).

Pengertian dan Klasifikasi Polutan

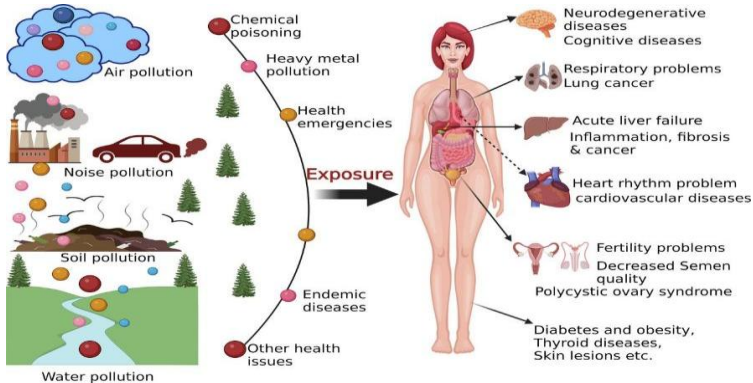
Polutan merupakan zat atau energi yang diperkenalkan ke lingkungan dan memberikan efek buruk, serta memengaruhi pemanfaatan sumber daya. Polutan dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu singkat maupun lama dengan memengaruhi pertumbuhan spesies flora atau fauna, atau dengan mengganggu kenyamanan, kesehatan, infrastruktur, serta nilai properti manusia (Basri, 2024).

Suatu bahan kimia memenuhi kriteria untuk diklasifikasikan sebagai polutan jika berpotensi membahayakan organisme hidup. Sebagai contoh, tanaman mendapat manfaat dari konsentrasi karbon dioksida di udara hingga 0,033%, tetapi konsentrasi yang lebih tinggi

Dampak Polutan Lingkungan

1. Dampak terhadap Kesehatan Manusia

Kesehatan manusia dan lingkungan dapat terpengaruh secara negatif oleh polutan lingkungan. Dengan mengonsumsi makanan dan air yang tercemar atau menghirup udara yang tercemar, polutan tersebut dapat memasuki rantai makanan, terakumulasi secara biologis dalam organisme, dan menimbulkan ancaman bagi manusia. Kesehatan manusia terpengaruh secara negatif oleh polutan dalam berbagai cara (Deeney et al., 2023). Sebagai akibat dari paparan polutan udara yang berkepanjangan, penyakit pernapasan, masalah kardiovaskular, dan bahkan kematian dini dapat terjadi. Polutan air dapat menyebabkan penyakit gastrointestinal, keracunan, dan kerusakan jangka panjang pada tubuh. Bahan kimia dan racun juga telah dikaitkan dengan gangguan perkembangan kognitif (Pierluigi Catapano, 2024), masalah reproduksi, dan kanker (Sharma AK, 2023). Polutan lingkungan dapat menyebabkan berbagai dampak kesehatan, seperti:



Gambar 2.5: Dampak Kesehatan Akibat Polutan Lingkungan

Sumber : Sharma AK, (2023)

Gambar 2.5 menggambarkan dampak berbagai jenis polusi terhadap kesehatan manusia. Polusi udara, kebisingan, tanah, dan air menjadi sumber utama paparan yang merugikan. Polusi udara yang berasal dari emisi kendaraan dan pabrik, misalnya, dapat

Upaya Pengendalian Polutan

Ada beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengendalikan polutan (Admin, 2024), diantaranya:

1. Teknologi Ramah Lingkungan
2. Pengelolaan Limbah dan Daur Ulang
3. Regulasi dan Kebijakan Pemerintah
4. Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat

Daftar Pustaka

- Achyani, R. (2023). *Ekotoksikologi Perairan*. Syiah Kuala University Press.
- Admin. (2024). *Solusi Inovatif untuk Pengendalian Pencemaran Udara di Perkotaan*. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. <https://pmb-itats-ac-id.webpkgcache.com/doc/-/s/pmb.itats.ac.id/solusi-inovatif-untuk-pengendalian-pencemaran-udara-di-perkotaan/>
- Basri, dan A. T. M. R. (2024). *Proteksi Lingkungan dan Produk Bersih* (N. Rahmadani (Ed.); Cetakan Pe). Rizmedia Pustaka Indonesia.
- Budiwati, R. (2019). Polusi. In *Kimia Terapan* (pp. 74–104). <http://ebook.itenas.ac.id/repository/83e6b390304fa6250d1847f8a9c2929d.pdf>
- Danhas, I. D. dan Y. H. (2021). *Toksikologi Lingkungan* (I. Vidyafi (Ed.)). PT Rajagrafindo Persada.
- Deeney, M., Green, R., Yan, X., Dooley, C., Yates, J., Rolker, H. B., & Kadiyala, S. (2023). Human health effects of recycling and reusing food sector consumer plastics: A systematic review and meta-analysis of life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*, 397(August 2022), 136567. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136567>
- Dwangga, M. (2018). Intensitas Polusi Udara Untuk Penunjang Penataan Ruang Kota Pelaihari Kabupaten Tanah Laut. *Jurnal Teknik Industri*, 4(2), 69–77.
- Irianti, T., Mada, U. G., Nuranto, S., Mada, U. G., Ugm, S., & Mada, U. G. (2017). *Toksikologi Lingkungan*.
- Khairil, K., Hamdani, H., & Jalaluddin, J. (2011). Kaji Eksperimental Pengaruh Pembebanan terhadap Emisi Debu Partikulat pada Motor Bensin. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 8(2), 79–83. <http://202.4.186.66/RKL/article/view/745%0Ahttp://202.4.186.66/RKL/article/download/745/699>

- Muadifah, A. (2019). *Pengendalian Pencemaran Lingkungan* (I. L. Tarigan (Ed.); 1st ed.). Media Nusa Creative.
- Mukono. (2011). *Aspek Kesehatan Pencemaran Udara* (Cetakan pe). Pusat Penerbitan dan Percetakan Unair (AUP).
- Pierluigi Catapano, et al. (2024). What is the relationship between exposure to environmental pollutants and severe mental disorders? A systematic review on shared biological pathways 3. *Brain, Behavior, & Immunity - Health*, 108404. <https://doi.org/10.1016/j.bbih.2024.100922>
- Purba, D. G., Purba, D., Saragih, D. R., Silalahi, E., Naibaho, G., Simbolon, J., Meri, M., Damanik, C., Saragih, T. A., Damanik, W., Varanti, Y., Sisingamangaraja Barat, J., Kapul, B., Sitalasari, K. S., & Siantar, K. P. (2024). Analisis Dampak Pencemaran Limbah Industri PT. Boss Terhadap Kehidupan Masyarakat di Bandar Maruhur. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, 2(4). <https://doi.org/10.59841/intellektika.v2i4.1279>
- R. Fuller, et al. (n.d.). *Pollution and health: a progress update*. 2022.
- Robinson, L. A., & Culhane, F. E. (2020). Linkage Frameworks: An Exploration Tool for Complex Systems in Ecosystem-Based Management. In *Ecosystem-Based Management, Ecosystem Services and Aquatic Biodiversity: Theory, Tools and Applications*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45843-0_11
- Sari, S. A. (2024). *Kimia Lingkungan* (H. Hasibuan (Ed.)). UMSU PRESS.
- Sharma AK, et al. (2023). Mapping the impact of environmental pollutants on human health and environment: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 255(107325).
- Tampubolon, A. P. C., & Boedisantoso, R. (2016). Analisis Persebaran Polutan Karbon Monoksida dan. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 160.
- Wardoyo, A. Y. P. (2024). *Sistem Monitoring Vulkanik* (A. I. Mulyawati (Ed.); Cetakan pe). UB Press.

PROFIL PENULIS



Musdalifah, S.KM., M.KL.

Ketertarikan penulis terhadap ilmu kesehatan dimulai pada tahun 2010 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Sekolah Menengah Atas di SMA negeri 1 Gowa dengan memilih Jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dan berhasil lulus pada tahun 2018. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi tahun 2018 dan berhasil menyelesaikan studi S1 di program studi Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin pada tahun 2022. Dua tahun kemudian, penulis menyelesaikan studi S2 Prodi Kesehatan Lingkungan di Universitas Hasanuddin. Penulis memiliki kompetensi pada bidang kesehatan dan lingkungan. Penulis aktif dalam kegiatan survey sebagai enumerator untuk menunjang karir. Selain itu, penulis juga terlibat dalam beberapa penelitian, baik di bidang kesehatan maupun di bidang lingkungan. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Email Penulis: musdalifahbaukk11@gmail.com



BAB 3

JALUR PAPARAN DAN RISIKO KESEHATAN

Agus Putra Murdani, S.KM., M.Kes.
STIKES Banyuwangi



- b. Stres: Lingkungan kerja yang berisiko tinggi dapat menyebabkan stres dan gangguan mental, mempengaruhi kesehatan mental dan fisik secara keseluruhan.
- c. Cedera Fisik: Paparan terhadap mesin berbahaya atau prosedur kerja yang tidak aman dapat menyebabkan cedera serius atau cacat permanen.

6. Paparan Melalui Makanan

Risiko Kesehatan:

- a. Keracunan Makanan: Mengonsumsi makanan yang terjangkit bakteri patogen (seperti *Salmonella* atau *E. coli*) dapat mengakibatkan gejala gastrointestinal yang serius.
- b. Alergi Makanan: Paparan terhadap makanan tertentu dapat menyebabkan reaksi alergi yang berpotensi mengancam jiwa, seperti anafilaksis.
- c. Penyakit Zoonosis: Makanan yang tidak dimasak dengan baik atau terkontaminasi dapat menularkan penyakit dari hewan ke manusia, seperti rabies atau leptospirosis.

Upaya Pengendalian dan Pencegahan Paparan

Upaya pengendalian dan pencegahan paparan adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi individu dan lingkungan dari risiko bahaya yang dapat mengakibatkan efek kesehatan yang merugikan akibat paparan terhadap bahan berbahaya, infeksi, atau situasi berbahaya lainnya. Berikut adalah beberapa upaya pengendalian dan pencegahan paparan yang dilakukan :

1. Identifikasi Bahaya

Tahap awal dalam pengendalian adalah mengidentifikasi potensi bahaya. Ini termasuk memetakan semua sumber risiko di lingkungan kerja atau sekitar rumah. Identifikasi ini bisa melibatkan:

- a. Analisis lingkungan untuk menemukan bahan kimia, fisik, atau biologis yang dapat mengakibatkan paparan.
- b. Wawancara dan kuesioner untuk mengumpulkan informasi dari pekerja atau masyarakat tentang risiko yang mereka hadapi.

2. Pengendalian Teknik

Ini berfokus pada penggunaan teknologi atau metode struktural untuk mengurangi risiko. Metode ini dapat berupa:

- a. Ventilasi di area kerja untuk mengeluarkan atau mengurangi konsentrasi polutan udara.
- b. Penggunaan alat otomatis untuk mengurangi interaksi langsung dengan bahan berbahaya.
- c. Desain ulang proses untuk meminimalkan risiko paparan.

3. Pengendalian Administratif

Pengendalian administratif melibatkan kebijakan dan prosedur yang harus diikuti untuk mengurangi paparan. Ini termasuk:

- a. Prosedur kerja standar (SOP) yang menjelaskan cara aman untuk melakukan tugas tertentu.
- b. Jadwal kerja yang membatasi waktu paparan.
- c. Pelatihan dan edukasi tentang bahaya dan cara pencegahan.

4. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD)

APD adalah perangkat yang digunakan oleh individu untuk melindungi diri mereka dari potensi bahaya. Ini mencakup:

- a. Masker respirator untuk mencegah inhalasi bahan berbahaya.
- b. Sarung tangan untuk melindungi kulit dari bahan kimia.
- c. Pelindung mata dan pelindung telinga untuk melindungi dari dampak fisik.

5. Monitoring dan Evaluasi

Setelah langkah pengendalian diterapkan, penting untuk memonitor keefektifan langkah-langkah tersebut:

- a. Melakukan pengukuran secara berkala untuk memastikan bahwa paparan berada di bawah batas yang ditetapkan.
- b. Evaluasi prosedur dan kebijakan, serta melakukan penyesuaian jika diperlukan.

6. Kesadaran dan Edukasi

Meningkatkan kesadaran tentang bahaya yang ada dan langkah-langkah pencegahan adalah kunci untuk keberhasilan program pengendalian:

- a. Mengadakan pelatihan rutin bagi pekerja mengenai bahaya yang dihadapi dan cara-cara untuk melindungi diri.
- b. Menggunakan media informasi seperti poster, brosur, atau seminar untuk menyebarkan informasi penting kepada masyarakat.

Upaya pengendalian dan pencegahan paparan sangat penting demi menjaga kesehatan dan keselamatan baik di tempat kerja maupun di masyarakat. Dengan mengidentifikasi risiko, menerapkan langkah pengendalian, menggunakan alat pelindung, serta meningkatkan kesadaran, kita dapat secara signifikan mengurangi potensi bahaya yang dihadapi.

Daftar Pustaka

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2005). Public Health Assessment Guidance Manual. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2020). Toxicological Profiles and Exposure Pathways. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov>
- Environmental Protection Agency (EPA). (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I - Human Health Evaluation Manual. Washington D.C.: EPA. United Nations Environment Programme (UNEP). (2016). Healthy Environment, Healthy People. Nairobi: UNEP. Retrieved from <https://www.unep.org>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2021). Guidance on Assessing Chemical Exposure. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2022). Human Health Risk Assessment. Retrieved from <https://www.epa.gov>
- Gheorghe, A., & Danciu, V. (2019). Toxicology and Risk Assessment: Fundamentals and Applications. Springer.
- Ghosh, S., & Chatterjee, S. (2020). Understanding Human Exposure to Environmental Chemicals. In *Advances in Environmental Research*, Vol. 55. Nova Science Publishers.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2021). Pedoman Pengendalian Risiko Kesehatan Lingkungan. Jakarta: Kemenkes RI.
- Kurniawan, M. (2024). Analisis Paparan Bahan Berbahaya di Tempat Kerja. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Nasir, M., & Jamilah, M. (2023). Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

- United Nations Environment Programme (UNEP). (2016). Healthy Environment, Healthy People. Nairobi: UNEP. Retrieved from <https://www.unep.org>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). Global Chemicals Outlook II: From Legacies to Innovative Solutions. Nairobi: UNEP. Retrieved from <https://www.unep.org>
- World Health Organization (WHO). (2006). Principles for Evaluating Health Risks in Children Associated with Exposure to Chemicals. Geneva: WHO.
- World Health Organization (WHO). (2010). Exposure to Air Pollution: A Major Public Health Concern. Geneva: WHO. Retrieved from <https://www.who.int>
- World Health Organization (WHO). (2020). Chemical Safety. Geneva: World Health Organization. Retrieved from WHO website. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2005). Public Health Assessment Guidance Manual. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov>
- World Health Organization (WHO). (2022). Chemical safety and human health. Retrieved from <https://www.who.int>
- World Health Organization (WHO). (2022). Occupational Health: A Global Perspective. Geneva: WHO Press.


PROFIL PENULIS



Agus Putra Murdani, S.KM., M.Kes

Penulis lahir pada tanggal 15 Agustus 1983 di Banyuwangi, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari orang tua Kusniah dan Drs. Murdiyanto, M.Pd. Penulis menempuh pendidikan kesehatan masyarakat diawali dari pendidikan S1 jurusan kesehatan masyarakat Universitas Airlangga Surabaya (lulus tahun 2007), kemudian melanjutkan di Strata 2 kesehatan masyarakat di Universitas Airlangga Surabaya (lulus tahun 2015). Saat ini penulis sebagai Dosen Program Studi S1 Gizi STIKES Banyuwangi. Penulis memiliki kepakaran dibidang Kesehatan Masyarakat. Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Selain melaksanakan tugas pendidikan dan penelitian, penulis juga aktif melakukan pengabdian masyarakat dan menjadi pemateri di seminar nasional terkait kesehatan masyarakat dan gizi masyarakat. Beberapa buku yang sudah di terbitkan diantaranya gizi dalam daur kehidupan, ekologi pangan dan gizi, surveilans gizi, pendidikan ilmu gizi, pangan dan gizi, ilmu gizi, serta kesehatan masyarakat dan promosi kesehatan.

Email Penulis: agusputramurdani@gmail.com



BAB 4
MEKANISME
TOKSISITAS PADA
ORGANISME HIDUP

Shabrina Vashtinia Putri Tryanda, S.Si.
Universitas Hasanuddin



- glukuronidasi meliputi senyawa seperti *asetilaminofluoren* (karsinogenik), *anilin*, *asam benzoat*, *fenol*, dan senyawa *steroid* (Klaaseen & Watkins, 2021).
- b. Sulfasi: Contoh *xenobiotik* yang mengalami proses sulfasi meliputi alkohol, *arilamina*, dan fenol. Proses ini terjadi ketika xenobiotik berikatan dengan asam sulfat melalui aksi enzim sulfotransferase (Klaaseen & Watkins, 2021).
 - c. Konjugasi dengan Glutation: Dalam proses ini, tripeptida seperti glutamat, sistein, dan glisin digunakan bersama dengan enzim glutation S-transferase atau *epoksid hidrolase*. Tripeptida ini bersifat elektrofilik, yang dapat berpotensi menyebabkan penyakit (Klaaseen & Watkins, 2021).

Enzim yang terlibat dalam proses biotransformasi biasanya tidak spesifik terhadap satu substrat. Contohnya, enzim *monooksigenase* dan *glukoronidase* umumnya terikat pada membran retikulum endoplasmik, dengan sebagian lainnya terlokalisasi di mitokondria. Selain itu, enzim yang terikat dan terlarut, seperti *esterase*, *amidase*, dan *sulfotransferase*, juga terlibat. Sebagian besar sistem enzim fase I berada dalam retikulum endoplasmik halus, sementara sistem enzim fase II terlokalisasi di sitosol. Sistem enzim ini memetabolisme *xenobiotik* serta melakukan biotransformasi terhadap senyawa endogen seperti hormon steroid, bilirubin, dan asam urat. Selain organ tubuh, bakteri flora usus juga dapat berperan dalam berbagai reaksi metabolisme, khususnya dalam reaksi reduksi dan hidrolisis. (Klaaseen & Watkins, 2021).

Bioakumulasi

Bioakumulasi adalah proses penumpukan senyawa kimia asing (*xenobiotik*) dalam organisme, yang dapat terjadi baik melalui lingkungan abiotik, seperti air, udara, dan tanah, maupun melalui sumber makanan melalui transfer trofik. Paparan yang berkelanjutan terhadap *xenobiotik* dapat meningkatkan konsentrasi zat tersebut dalam tubuh, terutama jika substansi tersebut memiliki waktu paruh biologis yang panjang, sehingga sulit untuk terdegradasi dan dieliminasi. Umumnya, *xenobiotik* masuk ke dalam tubuh organisme

melalui difusi pasif, terutama melalui membran paru-paru, insang, saluran gastrointestinal, dan kulit. Senyawa harus melewati lapisan lipid dua lapis pada membran untuk masuk ke dalam tubuh, oleh karena itu bioakumulasi *xenobiotik* sangat dipengaruhi oleh sifat lipofiliknya. (Hodgson, 2010).

Sungai, danau, dan laut berfungsi sebagai media tempat terlarutnya senyawa *xenobiotik* yang dapat diserap oleh organisme akuatik melalui sistem pernapasan (insang), lingkungan perairan menjadi lokasi utama di mana *xenobiotik lipofilik* dapat melewati penghalang antara lingkungan dan biota. Mengingat lipid merupakan tempat utama untuk retensi bahan kimia, tingkat akumulasi *xenobiotik* dalam organisme sangat bergantung pada kandungan lipid tersebut. Selain itu, *xenobiotik* dapat terakumulasi sepanjang rantai makanan, di mana senyawa dengan lipofilisitas tinggi dapat mengalami biomagnifikasi, yaitu peningkatan konsentrasi senyawa tersebut di setiap tingkatan rantai makanan (Hodgson, 2010).

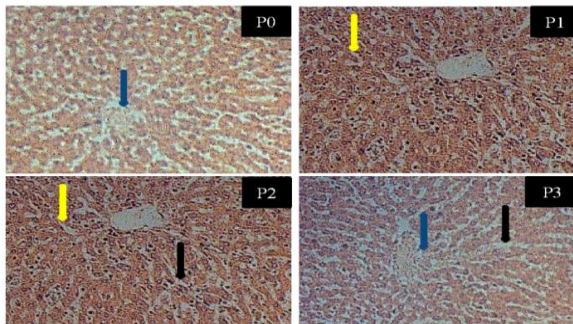


Gambar 4.2 : Bioakumulasi dan Biomagnifikasi pada Organisme Akuatik

Sumber: Irianti et al., (2017)

Dampak Toksisitas pada Organisme Hidup

Beberapa jenis logam berat diketahui dapat memberikan toksisitas. Timbal (Pb) dapat menyebabkan nekrosis. Nekrosis adalah proses kematian sel yang tidak normal yang disebabkan oleh reaksi terhadap zat tertentu, seperti bahan kimia beracun. Perubahan morfologi inti sel dimulai dengan kondisi seperti kariolisis (inti menghilang), *karioheksis* (inti pecah), atau piknosis (inti menjadi lebih padat). Pada kelompok kontrol (P0), kondisi hati umumnya tetap normal. Namun, pada kelompok P1 (pemberian Pb 0,5 ppm) dan P2 (pemberian Pb 1,0 ppm), terlihat beberapa perubahan, sementara pada kelompok P3 (pemberian Pb 2,0 ppm), muncul tanda-tanda kongesti dan nekrosis di sekitar vena sentralis (HE, 40x). Panah biru menunjukkan kongesti, panah kuning menunjukkan degenerasi lemak, dan panah hitam menunjukkan nekrosis. Gambar 4.1 menunjukkan adanya difusi atau nekrosis berat pada jaringan hati. Pada area nekrosis, terlihat infiltrasi sel radang limfosit dan proliferasi sel Kupffer di hati. Akumulasi timbal (Pb) dalam jumlah kecil di organ hati selama periode waktu yang panjang dapat menyebabkan keracunan jangka panjang, yang terlihat dari perubahan pada sel-sel tersebut. (Karina et al., 2022). Toksisitas logam berat timbal (Pb) dapat memberikan dampak yang signifikan, terutama pada organ hati. Kerusakan hati yang disebabkan oleh timbal terjadi melalui mekanisme peningkatan radikal bebas serta penurunan kapasitas sistem antioksidan tubuh, yang pada akhirnya memicu stres oksidatif (Rachmani et al., 2020).



Gambar 4.3 : Histopatologi Hati Tikus (*Rattus norvegicus*) yang terpapar timbal (Pb)

Sumber: Karina et al., (2022)

Daftar Pustaka

- Gupta, R., Polaka, S., Rajpoot, K., Tekade, M., Sharma, M. C., & Tekade, R. K. (2022). Chapter 6 - Importance of toxicity testing in drug discovery and research Author links open overlay panel. In *Pharmacokinetics and Toxicokinetic Considerations* (Volume 2, pp. 117–124). Elsevier Inc. <https://doi.org/DOI>
<https://doi.org/10.1016/C2021-0-01019-1>
- Hodgson, E. (2010). A Textbook Of Modern Toxicology. In *Sustainability (Switzerland)* (4th edition, Vol. 11, Issue 1). John Wiley & Sons Inc.,
- Irianti, T., Sugiyono, Kuswandi, & Nuranto, S. (2017). *Toksikologi Lingkungan*.
- Karina, E., Berata, I. K., & Setiasih, N. L. E. (2022). Histopatologi Hati Tikus yang Terpapar Logam Berat Timbal. *Buletin Veteriner Udayana*, 158, 1. <https://doi.org/10.24843/bulvet.2023.v01.i01.p01>
- Klaaseen, C. D., & Watkins, J. B. (2021). *Casarett & Doull's Essentials of Toxicology* (Fourth Edi). Mc Graw Hill.
- Lu, F. C. (1995). *Toksikologi dasar: asas, organ sasaran, dan penilaian risiko* (Ke-2). UI Press.
- McQueen, C. A. (2010). *Comprehensive Toxicology*. In J. Bond (Ed.), *Elsevier* (Second Edi). Elsevier Ltd.
- Rachmani, S. D., Hestianah, E. ., Plumerastuti, H., Darsono, R., & Safitri, E. (2020). Efektifitas Propolis Pada Perbaikan Histopatologi Hepar Mencit Betina yang Dipapar Logam Berat Pb Asetat. *Media Kedokteran Hewan*, 31(1), 23. <https://doi.org/10.20473/mkh.v31i1.2020.23-32>
- 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 A. Karim (Ed.), *Yayasan Kita Menulis*.

PROFIL PENULIS



Shabrina Vashtinia Putri Tryanda, S.Si

Ketertarikan penulis terhadap ilmu toksikologi bahan kimia berbahaya dan dampaknya terhadap kesehatan manusia serta lingkungan membawa dia aktif membaca. Penulis merupakan lulusan SMA Islam Athirah Bukit Baruga. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di Fakultas Farmasi Universitas Hasanuddin pada tahun 2023. Pada tahun 2024, penulis mendapat beasiswa Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) untuk melanjutkan S2 sekaligus S3 di Departemen Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.

Dengan latar belakang pendidikan di bidang Kesehatan telah memupuk pengetahuan yang luas dalam bidang toksikologi, baik dari segi teori maupun aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari. Minatnya yang kuat terhadap studi tentang toksisitas bahan kimia berbahaya menjadikannya seorang pencari solusi yang cermat dalam mengidentifikasi risiko dan dampak yang ditimbulkan oleh eksposur terhadap zat berbahaya. Menulis tentang toksikologi adalah bentuk dedikasi penulis untuk menyebarkan pengetahuan dan kesadaran akan pentingnya pengelolaan bahan kimia dengan cara yang aman dan bertanggung jawab.

Email Penulis: shabrinatryanda@gmail.com



BAB 5

EFEK BIOLOGIS ZAT

TOKSIK

Rahmawati, S.Pd., M.Sc.
Universitas Indonesia Timur



monoksida), dan obat-obatan tertentu dapat merusak jaringan jantung, menyebabkan hipertensi, aritmia, dan penyakit jantung iskemik. Zat toksik dapat menyebabkan peningkatan tekanan darah, peradangan vaskular, atau gangguan metabolisme jantung. Logam berat seperti kadmium dapat merusak sel otot jantung dengan menghasilkan stres oksidatif dan mempengaruhi enzim yang mengatur metabolisme jantung.

6. Efek Toksik pada Sistem Imun (Imunotoksisitas)

Sistem imun berfungsi melindungi tubuh dari infeksi dan bahan asing. Paparan zat toksik dapat melemahkan atau memperburuk fungsi sistem imun, meningkatkan kerentanannya terhadap infeksi atau bahkan menyebabkan autoimunitas. Contoh zat toksik termasuk pestisida, logam berat, dan obat-obatan tertentu. Zat toksik dapat mempengaruhi komponen seluler sistem imun, termasuk limfosit dan makrofag, mengganggu produksi sitokin atau meningkatkan peradangan kronis, yang akhirnya menyebabkan gangguan fungsi imun. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, radikal bebas dan spesies oksigen reaktif (ROS) dapat merusak sel-sel imun, yang mengarah pada penurunan respons imun tubuh. Stres oksidatif yang dipicu oleh paparan zat toksik berpotensi merusak komponen seluler, termasuk membran sel, protein, dan DNA sel-sel kekebalan, yang mengarah pada disfungsi imun.

Selain menyebabkan imunotoksisitas, beberapa zat toksik juga dapat memicu reaksi alergi atau hipersensitivitas, yang merupakan respon imun yang berlebihan terhadap zat asing yang biasanya tidak berbahaya. Alergi terjadi ketika sistem kekebalan tubuh secara keliru mengenali substansi tertentu (*alergen*) sebagai ancaman, yang memicu pelepasan histamin dan sitokin lainnya. Paparan terhadap bahan kimia tertentu, baik melalui inhalasi, kontak kulit, atau konsumsi, dapat menyebabkan reaksi alergi. Beberapa bahan kimia yang umum menyebabkan alergi termasuk lateks, obat-obatan, dan *allergen industry*. Beberapa bahan kimia atau zat yang terpapar pada tubuh dapat mengaktifkan produksi *immunoglobulin E* (IgE), yang berperan dalam reaksi alergi. Ketika

IgE berinteraksi dengan alergen, tubuh melepaskan histamin dan mediator inflamasi lainnya, yang dapat menyebabkan gejala alergi seperti gatal, pembengkakan, dan sesak napas.

7. Efek Reproduksi dan Teratogenik

Paparan zat toksik dapat memiliki dampak yang signifikan pada sistem reproduksi dan perkembangan janin, yang dapat menyebabkan masalah seperti **infertilitas** (ketidakmampuan untuk hamil atau menghasilkan keturunan) dan **malformasi janin** (kelainan bawaan pada janin). Efek toksik pada sistem reproduksi dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, termasuk gangguan hormon, kerusakan DNA, gangguan pada sistem imun, dan perubahan dalam lingkungan mikro pada sistem reproduksi. Paparan zat toksik yang menyebabkan infertilitas pada pria seperti: paparan pestisida organoklorin yang dapat menurunkan kualitas sperma dan mengganggu produksi testosterone; paparan logam berat (timbal, merkuri, dan arsenik) dapat mempengaruhi sistem hormon dan meningkatkan stres oksidatif dalam testis sehingga merusak sperma. Pada wanita, paparan zat toksik dapat menyebabkan gangguan pada ovarium, siklus menstruasi, dan kualitas telur, yang berpotensi menyebabkan kesulitan dalam hamil. Beberapa efek toksiknya seperti: paparan zat phthalates, bisphenol A (BPA), dan dioxins dikenal sebagai disruptor endokrin yang dapat mengganggu regulasi hormon reproduksi, seperti estrogen dan progesteron. Gangguan ini dapat mengurangi jumlah dan kualitas sel telur dan mengganggu siklus menstruasi; paparan benzena dan logam berat (misalnya, arsenik), dapat mengganggu fungsi ovarium, meningkatkan risiko keguguran, serta mengurangi kesuburan wanita.

Malformasi janin atau kelainan bawaan dapat terjadi sebagai akibat dari paparan bahan kimia berbahaya selama kehamilan. Teratogen adalah zat yang dapat menyebabkan kelainan atau cacat lahir pada janin yang sedang berkembang. Beberapa bahan kimia yang dapat menyebabkan malformasi janin meliputi: paparan obat seperti thalidomide dapat menyebabkan kelainan ekstremitas seperti hilangnya atau malformasi tangan dan kaki; Paparan

alkohol selama kehamilan dapat menyebabkan *fetal alcohol spectrum disorders* (FASDs), yang mencakup cacat fisik dan keterlambatan perkembangan otak. FASD adalah penyebab utama teratogenik yang dapat menyebabkan gangguan kognitif, masalah perilaku, dan cacat fisik pada bayi; dan paparan bahan kimia seperti BPA, phthalates, dan dioxins yang dapat mengganggu perkembangan sistem saraf dan organ reproduksi pada janin, yang berisiko menyebabkan kelainan perkembangan fisik dan mental.

Daftar Pustaka

- Castell, J. V., Donato, M. T., & Gómez-Lechón, M. J. (2005). Metabolism and bioactivation of toxicants in the lung. The in vitro cellular approach. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 57(SUPPL. 1), 189–204. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2005.05.008>
- Gadjah Mada, U. (2017). *Toksikologi Lingkungan Sindu Nuranto*. <https://www.researchgate.net/publication/328979886>
- Hanahan, D. (2022). Hallmarks of Cancer: New Dimensions. *Cancer Discovery*, 12(1), 31–46. <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-21-1059>
- Hodgson, E. (2004). *A TEXTBOOK OF MODERN TOXICOLOGY THIRD EDITION*.
- Landis, W. G., Sofield, R. M., & Yu, M.-H. (2011). *Introduction to Environmental Toxicology*.
- Li, F., Ortega, J., Gu, L., & Li, G. M. (2016). Regulation of mismatch repair by histone code and posttranslational modifications in eukaryotic cells. In *DNA Repair* (Vol. 38, pp. 68–74). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.dnarep.2015.11.021>
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., Amon, A., & Martin, K. C. (2021). *Molecular Cell Biology* (VIII). Katherine Ahr Parker.
- Magnussen, A., & Parsi, M. A. (2013). Aflatoxins, hepatocellular carcinoma and public health. In *World Journal of Gastroenterology* (Vol. 19, Issue 10, pp. 1508–1512). Baishideng Publishing Group Co. <https://doi.org/10.3748/wjg.v19.i10.1508>
- Moody, E. C., Coca, S. G., & Sanders, A. P. (2018). Toxic Metals and Chronic Kidney Disease: a Systematic Review of Recent Literature. In *Current environmental health reports* (Vol. 5, Issue 4, pp. 453–463). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0212-1>

- Ott, M., Gogvadze, V., Orrenius, S., & Zhivotovsky, B. (2007). Mitochondria, oxidative stress and cell death. In *Apoptosis* (Vol. 12, Issue 5, pp. 913–922). <https://doi.org/10.1007/s10495-007-0756-2>
- Vašková, J., Kočan, L., Vaško, L., & Perjési, P. (2023). Glutathione-Related Enzymes and Proteins: A Review. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules28031447>

PROFIL PENULIS



Rahmawati, S.Pd., M.Sc.

Lahir di Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Sejak Sekolah Dasar sudah memperlihatkan ketertarikan pada Ilmu Sains/IPA. Pada tahun 2000 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah di Sekolah Muhammadiyah 6 Makassar dengan peminat Ilmu Pengetahuan Alam, kemudian di tahun yang sama melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di prodi Pendidikan Biologi tahun 2005. Dua tahun kemudian, penulis melanjutkan studi S2 di prodi Ilmu Biologi Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada dengan beasiswa dari Kementerian Agama Republik Indonesia. Tepat setelah 2 tahun menjalani pendidikan S2 pada peminatan Ilmu Genetika & Biokimia lulus FBIO UGM yaitu tahun 2009 dengan gelar M.Sc. Tahun 2021 kembali ke Almamater Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada menjalani pendidikan Doktor dengan peminatan Ilmu Biokimia dengan disertasi pencarian bahan alam sebagai senyawa kemopreventif pada sel kanker payudara. Pendidikan Doktor ini didanai lewat Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) KEMENRISTEK DIKTI jalur dosen regular. Karir sebagai dosen dirintis sejak tahun 2009, dimulai sebagai dosen luar biasa (LB) hingga saat ini menjadi dosen tetap Yayasan Indonesia Timur. Mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti bidang kepakaran bahan alam yang bersifat toksik pada sel kanker. Beberapa penelitian dan pengabdian masyarakat yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga KEMENRISTEK DIKTI.

Email Penulis: rahmads.laka@gmail.com



BAB 6

BIOAKUMULASI DAN

BIOTRANSFORMASI

Riska Melanie, S.T., M.Si.
PT TUV Rheinland Indonesia



Definisi Bioakumulasi dan Biotransformasi

Organisme sering terpapar berbagai macam xenobiotika (senyawa-senyawa asing yang tidak terdapat secara alami di lingkungan tertentu). Dari bahan-bahan ini, bahan kimia lipofilik dengan mudah menembus bilayer lipoprotein dari membran sel mereka dan akhirnya mencapai sel target. Jika bahan kimia semacam ini terpapar secara terus-menerus atau sesekali pada organisme dan secara bertahap diserap oleh organisme tetapi tidak dieliminasi dari tubuh mereka, maka bahan kimia tersebut cenderung terakumulasi yang menghasilkan efek mematikan.

Secara umum bioakumulasi didefinisikan sebagai proses akumulasi xenobiotika yang dikategorikan sebagai polutan dan zat beracun dalam jaringan suatu organisme seiring waktu. Proses ini terjadi ketika laju penyerapan zat-zat tersebut melebihi laju eliminasinya, yang mengakibatkan konsentrasi yang semakin tinggi dalam organisme tersebut. Zat beracun ini biasanya adalah bahan kimia yang tidak mudah terurai dan dikenal sebagai Polutan Organik Persisten (POP). Mereka dapat ditemukan dalam pestisida, limbah industri, dan bahkan dalam beberapa produk sehari-hari. Bioakumulasi dapat terjadi di semua jenis organisme, baik akuatik maupun terestrial, walaupun kasus awal bioakumulasi teramati di ekosistem akuatik.

American Petroleum Institute (API) mendefinisikan bioakumulasi atau biokonsentrasi adalah proses yang dialami oleh bahan kimia dengan kecenderungan untuk terkonsentrasi dalam kehidupan akuatik pada tingkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan sekitarnya (air). Bioakumulasi mencakup penyerapan bahan kimia baik dari air maupun dari pola rantai makanan, sedangkan biokonsentrasi hanya mewakili penyerapan dari air saja (API, 1997).

Meskipun banyak polutan seringkali hanya hadir di lingkungan dengan konsentrasi kurang dari satu bagian per juta (ppm) atau kurang dari satu bagian per triliun (ppt), mereka dapat terakumulasi hingga tingkat yang secara toksikologis signifikan dalam jaringan lemak organisme yang terpapar. Faktor pendorong fenomena bioakumulasi ini adalah kecenderungan bahan kimia untuk memiliki

2. Kasus pembuangan limbah industri yang mengandung *metil merkuri* menyebabkan akumulasi dalam ikan dan keracunan pada manusia, terjadi pada tahun 1950-an di Teluk Minamata, Jepang (Harada, M., 1995).
3. Kasus akumulasi PCBs dalam ikan dan berdampak pada kesehatan manusia melalui konsumsi ikan yang terkontaminasi, terjadi pada kurun waktu tahun 1970-an hingga 1980-an di Great Lake, Amerika Serikat dan Kanada (Kubiak, T. J., dkk.,1995).
4. Penelitian menunjukkan adanya akumulasi timbal dalam jaringan ikan di Sungai Yamuna yang terkontaminasi oleh limbah industri, terjadi pada tahun 1960 di Agra, India (Singh, R. K., & Sharma, A., 2006).
5. Kasus akumulasi logam Kadmium dalam jaringan udang, meningkatkan risiko bagi predator dan manusia, terjadi pada tahun 1997 di Teluk San Diego, California, Amerika Serikat (Vassallo, G. D., dkk., 2000).
6. Kasus akumulasi senyawa PFAS dalam air tanah akibat limbah industri, terjadi pada tahun 2016 di Fayetteville, Karolina Utara, Amerika Serikat (Skumatz, L., 2018).
7. Kasus akumulasi PFOA dalam ikan, menimbulkan risiko kesehatan bagi konsumen, terjadi pada tahun 2017 di Sungai Ohio, Pennsylvania, Amerika Serikat (Senkus, K., 2020).

Upaya Penggunaan Bioakumulasi dan Biotransformasi untuk Menanggulangi Polutan Xenobiotika

Berikut adalah beberapa penelitian yang menggunakan bioakumulasi dan biotransformasi untuk menanggulangi polutan xenobiotika yang terjadi di lingkungan.

1. Pengujian potensi eliminasi cepat bioakumulasi fipronil (residu pestisida) pada ikan Trout Pelangi (*Oncorhynchus mykiss*) melalui biotransformasi melalui perubahan dalam komposisi enantiomer ikan tersebut (Konwick, B., 2005).
2. Toksisitas, bioakumulasi, dan biotransformasi partikel nanoperak berlapis glukosa pada mikro alga hijau *Chlorella vulgaris* (Mariano, S., dkk., 2020).

3. Bioakumulasi dan penilaian risiko kesehatan terhadap pencemaran logam berat yang parah pada debu jalanan dari berbagai wilayah Perkotaan di Baghdad, Irak (Abed, S., dkk., 2020).
4. Biotransformasi mengubah toksisitas dan bioakumulasi *Diclofenac* dalam organisme akuatik (Qiuguo, F., dkk., 2020).
5. Sebuah tinjauan kritis terhadap bioakumulasi dan biotransformasi dari bahan kimia organik dalam burung (Kuo, D., dkk., 2022).
6. Bioakumulasi untuk penghilangan polutan logam berat: sebuah tinjauan (Nnabueze, N., dkk., 2023).

Daftar Pustaka

- American Petroleum Institute (API). (1997). *Bioaccumulation: How Chemicals Move From The Water Into Fish And Other Aquatic Organisms; API Publication No. 4656*. Health and Environmental Science Department, Columbia, Amerika Serikat.
- Abed, S., dkk. (2020). Bioaccumulation and Health Risk Assessment of Severe Metal Pollution of Street Dust from Various Urban Regions in Baghdad, Iraq. *E3S Web of Conferences 158, 05004*. DOI: 10.1051/e3sconf/202015805004.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin Harcourt, Boston, Amerika Serikat.
- Dekant, W. (2009). *The role of biotransformation and bioactivation in toxicity*. Molecular, Clinical and Environmental Toxicology, Volume 1: Molecular Toxicology, Birkhäuser Verlag/Switzerland.
- Harada, M. (1995). "Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution." *Critical Reviews in Toxicology*, 25(1), 1-24. DOI: 10.3109/10408449509044887.
- Konwick, B. (2005). *Bioaccumulation, Biotransformation, and Toxicity of Fipronil: Enantiomer-Specific Considerations*, University of Georgia, Georgia.
- Kubiak, T. J., dkk. (1995). Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Great Lakes Fish: Joint Flesh Sampling by Michigan and Ontario Environmental Resource Programs. *Environmental Health Perspectives*, 103(3), 196-205. DOI: 10.1289/ehp.95103s3196.
- Kuo, D., dkk. (2022). A Critical Review of Bioaccumulation and Biotransformation of Organic Chemicals in Birds. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. DOI: 10.1007/s44169-021-00007-1.
- Lenke, H., dkk. (2002). *Biotransformations*. Technische Universität Dortmund and ISAS Leibniz Institute of Analytical Sciences, Jerman.

- Mariano, S., dkk. (2020). Toxicity, Bioaccumulation and Biotransformation. *MDPI Nanomaterials Journal*; 10, 1377. DOI: 10.3390/nano10071377.
- Nnabueze, N., dkk. (2023). Bioaccumulation for Heavy Metal Removal: A Review. *SN Applied Sciences*; 5:125. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05351-6>.
- Qiuguo, F., dkk. (2020). A Critical Review of Bioaccumulation and Biotransformation of Organic Chemicals in Birds. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*; 260:6. <https://doi.org/10.1007/s44169-021-00007-1>
- Senkus, K. (2020). Perfluoroalkyl Substances (PFAS): A Risk to Public Health. *Toxicology and Environmental Health Studies*, 30(4), 567-581.
- Singh, R. K., & Sharma, A. (2006). "Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish from Yamuna River, Agra (India)." *Journal of Environmental Biology*, 27(2), 489-493.
- Skumatz, L. (2018). "Understanding the Effects of Emerging Contaminants on Public Health and the Environment." *Environmental Protection Agency (EPA)*. [EPA.gov](https://www.epa.gov).
- Vassallo, G. D., et al. (2000). "Bioaccumulation of Cadmium and Lead in Intertidal Invertebrates from San Diego Bay, CA." *Marine Pollution Bulletin*, 40(1), 37-43. DOI: 10.1016/S0025-326X(99)00159-7.

PROFIL PENULIS




Riska Melanie, S.T., M.Si.

Penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di Sekolah Menengah Kejuruan yang berada di bawah Kementerian Perindustrian yaitu Sekolah Menengah Analis Kimia Bogor (SMAK Bogor) pada tahun 1999. Penulis kemudian bekerja di sebuah perusahaan manufaktur kabel optik sebagai staf Sistem Manajemen Mutu sambil melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di Prodi Teknik Kimia Universitas Jayabaya di Jakarta pada tahun 2005 dengan predikat *cum laude*. Setelah menyelesaikan studi S1 penulis bekerja di berbagai perusahaan multinasional yang bergerak di bidang manufaktur maupun bidang jasa, pada tahun 2010 penulis melanjutkan studi S2 di prodi Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Indonesia dan berhasil lulus dengan predikat *cum laude* pada tahun 2012.

Penulis memiliki kepakaran di bidang sistem manajemen mutu, sistem manajemen lingkungan, sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja. Penulis memiliki lebih dari 15 tahun pengalaman bekerja dan sejak tahun 2008 penulis bekerja di Lembaga Sertifikasi. Selain bekerja di industri, penulis pernah menjadi dosen tamu di Prodi Teknik Lingkungan dan Prodi Teknik Industri Universitas Sahid Jakarta pada semester genap tahun 2013. Penulis juga aktif menulis untuk memberikan kontribusi positif bagi masyarakat luas, salah satunya adalah beberapa kali menulis *blog* untuk PT TUV Rheinland Indonesia yang diterbitkan di website insights.tuv.com.

Email Penulis: ris.melanie@gmail.com.



BAB 7

DAMPAK TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN TERHADAP KESEHATAN

Denisius Umbu Pati, S.KM., M.Kes.
Universitas Kristen Wira Wacana Sumba



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

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

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

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

Gambar 7.1 : Terminologi dan Definisi Toksikologi

Sumber : Klaassen (2008).

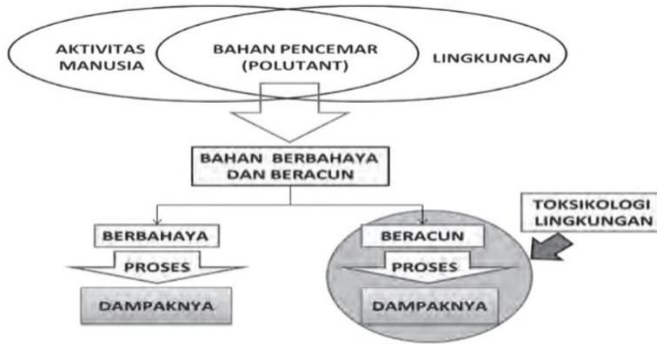
Pada siklus kehidupan baik manusia maupun organisme atau kehidupan lainnya, dapat terpapar oleh zat beracun (toksik) melalui udara, air, makanan, lingkungan dan lain sebagainya. Paparan ini umumnya secara akut tidak membahayakan, namun dapat memberikan dampak secara jangka Panjang.

Pencemaran lingkungan saat ini disebabkan oleh penurunannya kualitas lingkungan akibat dampak dari kemajuan zaman dan peningkatan industrialisasi, selain itu juga diakibatkan oleh perilaku manusia yang tidak bertanggung jawab. Toksikologi lingkungan ialah ilmu toksikologi yang membahas mengenai dampak toksik pada senyawa organisme terhadap lingkungan serta dampak negatifnya terhadap kesehatan makhluk hidup. Menurut Duffus tahun 1980 mendefinisikan toksikologi lingkungan merupakan suatu bidang ilmu yang mempelajari pengaruh senyawa beracun di alam dan lingkungan.

Ruang lingkup Toksikologi

Ruang lingkup toksikologi pada dasarnya terdiri dari tiga bidang yaitu toksikologi deskriptif, toksikologi mekanistik dan toksikologi regulatori. Dalam berkembangannya ilmu pengetahuan, ketiga bidang dasar tersebut mendasari pemanfaatan data toksikologi untuk kajian risiko (*risk assessment*) dan didukung oleh toksikologi informatika. Pada dua bidang kajian pertama menyajikan informasi tentang mekanisme toksisitas dan efek yang ditimbulkan oleh toksikan, sementara pada tiga bidang bidang berikutnya memanfaatkan dan mengevaluasi informasi yang disajikan untuk kepentingan penggunaan dan pengendalian dari toksikologi.

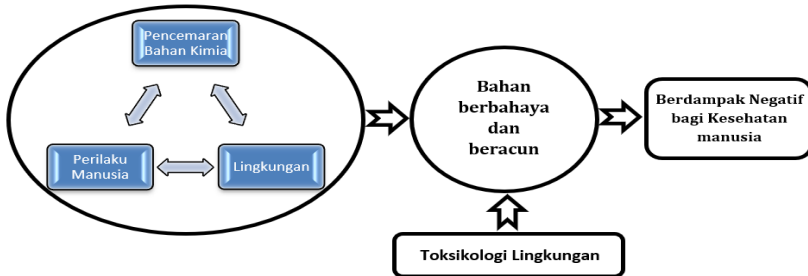
dan pengetahuan dalam mengelola dan menjaga kondisi lingkungan agar tidak tercemar dari bahan beracun dan berbahaya.



Gambar 7.4 : Hubungan Toksikologi Lingkungan dengan Pencemaran Lingkungan

Sumber : Dewata & Danhas (2021)

Dari gambar diatas dapat dikatakan bahwa aktivitas manusia yang mengakibatkan meningkatnya polusi atau pencemaran bahan kimia berbahaya dan beracun di lingkungan akan berdampak negatif bagi Kesehatan manusia dapat dilihat pada skema berikut ini.



Gambar 7.4 : Hubungan Toksikologi Lingkungan terhadap Kesehatan

Sumber : Dikelola oleh Penulis

Penelitian yang dilakukan oleh Pati tahun 2020 menunjukkan bahwa penggunaan pestisida yang berlebihan yang dilakukan oleh para petani akan meningkatkan biaya pengendalian mempertinggi kematian organisme non target serta dapat menurunkan kualitas

lingkungan, hal ini dibuktikan bahwa insektisida golongan organofosfat, karbamat dan piretroid sintesis berpengaruh negatif terhadap musuh alami. Pestisida merupakan zat beracun dan berbahaya, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan efek negatif yang tidak diinginkan. Dampak buruk tersebut akan menyebabkan berbagai isu baik secara langsung maupun tidak langsung, akan mempengaruhi Kesehatan dan kesejahteraan manusia sebagai contoh akibat keracunan. Dampak buruk yang muncul dari pemakaian pestisida dalam pengendalian hama adalah keracunan terutama bagi para petani yang sering intensif memakai atau memanfaatkan bahan pestisida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pengetahuan masyarakat, Pendidikan dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) sangat berpengaruh terhadap dampak Kesehatan yang ditimbulkan akibat penggunaan pestisida oleh petani (Pati, 2020).

Pertanian modern saat ini banyak petani yang menggunakan teknologi modern dalam melindungi tanamannya maupun penggunaan bahan-bahan kimia dalam meningkatkan produksi pertaniannya diantaranya pemupukan, irigasi, pengolahan tanah, pengendalian penyakit. Dalam hal tersebut seringkali petani mengabaikan dampak negatif yang ditimbulkan yang akan merugikan kerusakan pada lingkungan diantaranya adalah penggunaan pupuk dan penggunaan pestisida untuk mengurangi serangan hama dan penyakit pada tanaman. Pengendalian hama dan penyakit secara terus menerus dengan menggunakan insektisida dapat menyebabkan kekebalan terhadap serangan hama dan patogen, sehingga mikroorganisme tersebut dapat berkembang pesat dan membunuh musuh alami, parasite dan predator. Selain itu juga dalam pengendalian hama dengan menggunakan pestisida menyebabkan kerusakan dan pencemaran pencemaran terhadap lingkungan diantaranya pencemaran udara, pencemaran air tanah, dan produksi pertanian. Penggunaan pestisida juga secara berlebihan akan berdampak pada keanekaragaman hayati agroekosistem (Sembel, 2015).

Daftar Pustaka

- Hidayat, Erlani, Sahani, W., Inayah, & Haderiah. (2023). *Buku Ajar Toksikologi Lingkungan*. Nasmedia.
- Kaman, S. (2018). *Toksikologi Lingkungan*. Airlangga University Press.
- Klaassen, C. D. (2008). *Casarett and doulls toxicologi the basic science of poisons / editor Curtis D. Klaassen* (Cetakan). Me Graw Hill New York.
- Lourrinx, Effine, et al. (2022). *Toksikologi Lingkungan* (Rantika Maida Sahara (ed.); Cet.I). PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI.
- Palilingan, R. A., Febrina, L., Sudasman, F. H., Musdalifah, & Pati, D. U. (2023). *Dasar Kesehatan Lingkungan* (F. Fadhila (ed.)). Sada Kurnia Pustaka.
- Pati, D. U. (2020). Analisis Resiko Derajat Kesehatan Petani Pengguna Pestisida. *Jurnal Kesehatan Primer*, 5(6), 70–77.
- Sembel, D. T. (2015). *Toksikologi Lingkungan* (A. Pramesta (ed.); Ed. 1). ANDI Offset.

PROFIL PENULIS



Denisius Umbu Pati, S.KM., M.Kes.

Ketertarikan penulis terhadap ilmu Kesehatan dimulai pada tahun 2010 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Waingapu Kota Waingapu dengan memilih Jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dan berhasil lulus pada tahun 2010. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di prodi Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat dengan Peminatan Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Kerja Universitas Nusa Cendana pada tahun 2010 dan penulis menyelesaikan studi S1 pada tahun 2014. Dua tahun kemudian, penulis menyelesaikan studi S2 di prodi Kesehatan Masyarakat Program Pasca Sarjana Universitas Nusa Cendana dan menyelesaikan studinya pada tahun 2016.

Penulis memiliki kepakaran dibidang Kesehatan Masyarakat dengan konsentrasi Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Kerja. Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti di bidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Email Penulis: denis@unkriswina.ac.id



BAB 8

PENCEMARAN

LINGKUNGAN

Indira Pipit Miranti, M.Sc.
STIKes Ibnu Sina Ajibarang



Definisi Pencemaran Lingkungan

Masuknya makhluk hidup, zat, energi atau komponen-komponen lain ke dalam lingkungan hingga menyebabkan perubahan pada lingkungan disebut cemaran lingkungan (UU RI, 1997). Menurut Peirce et al. (1997), masalah yang ditimbulkan dari pencemaran lingkungan sudah lama terjadi hingga saat ini, dengan berbagai tingkat kerumitan masalahnya. Kegiatan manusia, seperti industri dan kegiatan rumah tangga, dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Dalam proses metabolisme tubuhnya, manusia menghasilkan kotoran, yang jika tidak dikelola dengan benar dapat menimbulkan pencemaran. Selain itu, sebagai makhluk sosial, manusia akan mengangkut sisa makanan dan banyak limbah dari barang-barang yang tidak dipakai. Meningkatnya jumlah penduduk yang tinggal di dunia, semakin banyak pula sumber daya alam yang dimanfaatkan. Semua proses pemanfaatan sumber daya alam yang dapat diperbaharui dan yang tak dapat diperbaharui akan menyebabkan sisa buangan (Sastrawijaya, 2009).

Macam Pencemaran Lingkungan

1. Pencemaran Air

Sebagian besar limbah organik mencemari air, membahayakan makhluk hidup dan lingkungan. Di negara-negara berkembang, pencemaran air setiap hari menewaskan banyak orang, sebagian besar karena air minum yang tercemar oleh limbah yang tidak diolah dengan baik. Sebagai contoh, banyak sekali anak-anak di India meninggal karena diare yang disebabkan oleh pencemaran air dan di China terjadinya kekurangan air minum yang aman. Rusaknya nutrisi untuk hewan dan tanaman juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia baik secara langsung atau tidak langsung. Jika nutrisi tanaman (seperti nitrogen, fosfor, dan zat lain) yang mendukung pertumbuhan tanaman diberikan dalam jumlah yang cukup besar, maka dapat menyebabkan pertumbuhan yang berlebihan dari gulma dan alga. Ini membuat air berasa, berwarna, dan berbau. Dengan demikian keseimbangan ekologi di dalam badan air akan berubah (Owa, 2014).

neuropati, yang menyebabkan gangguan memori, gangguan tidur, kemarahan, kelelahan, tremor tangan, penglihatan kabur, dan ucapan yang tidak jelas. paparan timah terutama merusak sistem dopamin, sistem glutamat, dan kompleks reseptor *N-metil-D-aspartat* (NMDA), yang masing-masing bertanggung jawab atas proses memori. Dioksin mengurangi konduksi saraf dan gangguan perkembangan mental pada anak-anak.

- 4) Gangguan Kehamilan: Janin yang sedang berkembang dipengaruhi oleh polusi udara. Ibu yang memakan logam berat berisiko mengalami aborsi spontan dan mengalami penurunan pertumbuhan janin, seperti persalinan prematur dan bayi dengan berat lahir rendah. Selain itu, hal ini berdampak pada sistem saraf, yang berdampak negatif pada kemampuan motorik dan kognitif bayi baru lahir. Demikian pula, dioksin dapat memengaruhi perkembangan dan pertumbuhan saraf pusat janin jika dipindahkan dari ibu ke janin melalui plasenta.

b. Usaha Mengurangi Terjadinya Pencemaran Udara

- 1) Polusi Udara oleh Gas Ozone (O_3): mengurangi atau menghilangkan *chlorofluorocarbon* (CFC) dari produksi beberapa industri, seperti kemasan aerosol dan mesin pendingin, yang memerlukan perubahan pada mesin yang menggunakan CFC.
- 2) Polusi Udara oleh Oksida Karbon (CO dan CO_2): dapat dicapai melalui program konservasi hutan, program hutan kota, atau penanaman pohon (vegetasi). Fungsi tanaman yaitu menyerap zat pencemar CO_2 karena mampu menyerap panas saat berfotosintesis, serta menurunkan suhu udara di sekitarnya.
- 3) Polusi Udara oleh Oksida Belerang (SO_2 dan SO_3): melakukan pembersihan atau pemberantasan SO_2 di industri yang menghasilkan gas buang oksida belerang, seperti kilang minyak, industri batu bara, dll., tetapi teknologi ini mahal.

- 4) Polusi Udara oleh Oksida Nitrogen (NO, NO₂ dan N₂O): Polusi oksida nitrogen mengandung sekitar 10% dari gas pencemar udara, tetapi nitrogen memainkan peran penting sebesar 78% dari siklus kesetimbangan alam.
- 5) Polusi Udara oleh Partikel Molekuler: menggunakan teknologi penyaringan, seperti pada cerobong asap industri, di mana filter dipasang di atas ukuran partikel molekuler yang diproduksi pabrik sehingga dapat menangkap partikel yang lebih halus (Basri, 2010).

Daftar Pustaka

- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1602.
- Atlas, R. M. (2010). *Principles of microbiology*. W. W. Norton & Company.
- Basri, I. W. (2010). Pencemaran Udara Dalam Antisipasi Teknis Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan. *Jurnal SMARTek*, Vol. 8(2): 120-129.
- Bellinger, D. C. (2004). The consequences of childhood lead exposure: Implications for remediation. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 1086-1095.
- Departemen Lingkungan Hidup. (2010). *Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Förster, U., Hansen, U.-P., & Naumann, K. (2012). Bioaccumulation of metals in aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 416, 1-17.
- Geng, D., & Wang, L. (2018). Relationship between environmental pollution and industrial restructuring: Hubei Province in China. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17(4), 1227-1234. [http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-66-23-\(21\)_G-154.pdf](http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-66-23-(21)_G-154.pdf).
- Grandjean, P., & Landrigan, P. J. (2006). Developmental neurotoxicity of environmental chemicals. *Lancet*, 368(9541), 2101-2107.
- Guo, S., Wang, S., & Zhang, Y. (2017). Acid mine drainage: Causes, impacts, and treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 321, 1-14.
- Harmayani, K. D. Dan I G. M. Konsukartha, (2007), Pencemaran Air Tanah Akibat Pembuangan Limbah Domestik Di Lingkungan Kumuh Studi Kasus Banjar Ubung Sari, Kelurahan Ubung, *Jurnal Permukiman Natak*. Vol. 5 (2): 62-108.

- Heriamariaty, 2011, Upaya Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran air akibat Penambangan Emas di Sungai Kahayan, *Mimbar Hukum*, Vol 23, Nomor 3, 3 Oktober 2011, halaman 431-645.
- Imansyah, M. F., (2012), Studi Umum Permasalahan Dan Solusi Das Citarum Serta Analisis Kebijakan Pemerintah, *Jurnal Sositeknologi Edisi 25 Tahun 11*, April 2012.
- Kampa, M and Castanas, E. (2008). Human Health Effects Of Air Pollution. *Environmental Pollution* 151: 362e367.
- Lee, Y., Kim, S., & Park, J. (2018). Bioremediation of petroleum-contaminated soil using indigenous bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 342, 123-130.
- Mishra, R. K., Mohammad, N., & Roychoudhury, N. (2016). Soil pollution: Causes, effects and control. *Tropical Forest Research Institute*, 3(January), 1-14. https://www.researchgate.net/publication/289281444_Soil_pollution_Causes_effect_and_control.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- National Research Council. (1994). *Remediation of contaminated groundwater: Scientific basis for regulatory decisions*. National Academies Press.
- Owa, F. W. (2014). Water Pollution: Sources, Effects, Control and Management. *International Letters of Natural Sciences*, 3, 1-6. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ilns.8.1>
- Peirce, J. J., Vesilind, P. A., & Weiner, R. F. (1997). Environmental Pollution and Control. In.
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416. (1990). *Tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air*.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82. (2001). *Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20. (1990).
Tentang Pengendalian Pencemaran Air.
- Prodjosantoso, R. T., (2011). *Kimia Lingkungan (Teori, Eksperimen, dan Aplikasi)*. Yogyakarta: Kanisius.
- Puspitasari, D. E. (2009). Dampak Pencemaran Air terhadap Kesehatan Lingkungan dalam Perspektif Hukum Lingkungan (Studi Kasus Sungai Code diKelurahan Wirogunan Kecamatan Mergangsang dan Kelurahan Prawirodirjan Kecamatan Gondomanan, Yogyakarta), *Mimbar Hukum*, Vol 21, Nomor 1, Februari 2009, halaman 23 -34
- Raskin, I., & Ensley, B. D. (2000). Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment. *Science*, 289(5484), 2047-2051.
- Sastrawijaya, A. T. (2009). *Pencemaran Lingkungan* (Cetakan Ke). PT Rineka Cipta. Savci, S. (2012). An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 73–80. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2012.v3.191>
- Setiawan, I.(2001). Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran dalam http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOGRAFI/197106041999031IWAN_SETIAWAN/Pencegahan_dan_penanggulangan_pencemaran.pdf.
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Global food system transformations and climate change. *Nature*, 489(7417), 590-596.
- Smith, J., Brown, L., & Davis, K. (2020). Impact of lead contamination on children's health in urban areas. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 55(12), 1234-1245.
- Soemarwoto, O. (1992). *Ilmu Lingkungan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

- Suhardi, B. (2015). *Pencemaran Lingkungan dan Pengelolaannya*. Bandung: Penerbit ITB.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (2002). *Integrated solid waste management*. McGraw-Hill Education.
- Undang-undang Nomor 23. (1992). *Tentang Kesehatan*
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23. (1997). *Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup*
- UNEP. (2019). *Global Environment Outlook 6*. United Nations Environment Programme.
- USEPA. (2004). *Technical Guidance for Assessing Soil Exposure To Contaminated Soil*. United States Environmental Protection Agency.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.
- Wang, X., Li, Y., & Zhao, F. (2021). Pesticide residues in agricultural soils: Sources, fate, and risk assessment. *Environmental Pollution*, 272, 116112.
- Warlina, L. (2004). *Pencemaran Air: Sumber, Dampak Dan Penanggulangannya*, Makalah pribadi Pengantar ke Falsafah Sains (PPS702) Sekolah Pasca Sarjana/ S3 Institut Pertanian Bogor.
- Zhang, Y., Li, X., & Chen, J. (2019). Agricultural non-point source pollution: Causes, impacts, and management strategies. *Journal of Hazardous Materials*, 364, 413-425.

PROFIL PENULIS



Indira Pipit Miranti, S.Pd., M.Sc.

Ketertarikan penulis terhadap ilmu biologi dimulai pada tahun 2006 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Sekolah Menengah Atas di SMA Muhammadiyah 1 Purwokerto dengan memilih IPA dan berhasil lulus pada tahun 2008. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi pada tahun 2008 dan berhasil menyelesaikan studi S1 di prodi Pendidikan Biologi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) pada tahun 2013. Setelah menyelesaikan pendidikan S1, penulis melanjutkan studi S2 di prodi Magister Biologi, Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada (UGM) dengan konsentrasi ilmu Biologi (Botani) sejak tahun 2013 sampai 2016. Penulis memiliki kepakaran dibidang Biologi (Botani). Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Email Penulis: indirapipit@stikes-ibnusina.ac.id /
indira.pipit@gmail.com



BAB 9

DAMPAK POLUSI PADA

EKOSISTEM

Serlly Frida Drastyana, S.KM., M.KL.
STIKES Yayasan RS Dr Soetomo



dihasilkan oleh aktivitas manusia dan sedimen. Merkuri diserap oleh mikroorganisme dan akhirnya masuk ke dalam ikan. Merkuri berpindah melalui ekosistem air, melalui aliran air di permukaan tanah dan atmosfer. Proses metilasi merkuri pada sedimen terjadi berkat aktivitas mikroorganisme (Mukono, 2010).

Dalam penelitian yang dilakukan di Pantai Utara Kabupaten Tuban, titik 1 hingga 7 termasuk dalam kategori tercemar ringan, kecuali titik 2 dan 3, dan titik 8 hingga 14 termasuk dalam kategori tercemar sedang, dan titik 8 hingga 14 termasuk dalam kategori tercemar ringan. Sebagai sumber utama logam berat di wilayah pesisir Kabupaten Tuban, aktivitas manusia di daerah pesisir, seperti pelabuhan nelayan, tempat pelelangan ikan, dan industri, diperkirakan menggunakan logam berat. Selain itu, kondisi ini akan mengganggu kelangsungan hidup biota yang ada di sekitarnya, seperti sumber daya perikanan dan ekosistem pesisir dan laut (terumbu karang, mangrove, dan padang lamun). Pada akhirnya, hal ini akan menyebabkan penurunan pendapatan masyarakat pesisir yang menggantungkan hidupnya pada produktivitas hayati (Damaianto and Masduqi, 2014).

Menurut penelitian yang dilakukan pada tahun 2021 di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah Piyungan di Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, juga menimbulkan pencemaran namun tingkat pencemaran tanah oleh logam berat seperti Pb, Cu, Zn, dan Cd rendah hingga sedang. Dalam tanah, kontaminan logam berat cenderung tersebar di zona Piyungan Interface dan menurun seiring jarak dari TPA. Indeks Beban Pencemaran (PLI) di lokasi penelitian diketahui berada pada tingkat rendah hingga sedang, dan Indeks Risiko Lingkungan (RI) juga berada pada tingkat rendah (Muyassar, Budianta and Warmada, 2021).

Dampak Polusi Radioaktif Terhadap Ekosistem

Polusi radioaktif, juga disebut pencemaran radioaktif, adalah ketika ada kerusakan radioaktif yang disebabkan oleh kegiatan industri nuklir, seperti pembangkit tenaga nuklir dan pengembangan senjata nuklir. Polusi radioaktif nuklir sangat berbahaya bagi manusia karena dapat menyebabkan kerusakan DNA dan kanker.

Bencana gempa bumi dan tsunami yang menghancurkan Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (NPP) mengakibatkan melelehnya inti reaktor dan pelepasan materi radioaktif. Dampak dari kejadian ini mempengaruhi berbagai aspek, termasuk kesehatan manusia dan ekosistem di sekitarnya. Evaluasi risiko serta pengelolaan limbah radioaktif di Fukushima menjadi sangat penting dan mendesak untuk melindungi lingkungan dan kehidupan manusia di seluruh dunia. Penelitian sebelumnya telah banyak menyoroti permasalahan serius, seperti penyebaran radioaktivitas ke lingkungan, risiko kesehatan manusia, serta dampak jangka panjang pada ekosistem. Selain dampak langsung terhadap manusia, kejadian ini juga menyebabkan kontaminasi pada sumber makanan manusia, seperti hewan ternak dan sayuran. Dampak lingkungan dari limbah nuklir mencakup pencemaran air tanah, gangguan ekosistem, serta kontaminasi makanan dan air minum (Febrianti *et al.*, 2023; Andil Putri Pratama Dharma Laksana, 2024).

Paparan limbah nuklir pada embrio vertebrata dapat mengganggu proses perkembangan tulang belakang, menyebabkan kelainan struktural. Kelainan struktural ini dapat membahayakan kesehatan dan kelangsungan hidup hewan, serta mengganggu mobilitas, fungsi, dan reproduksi (Zahro *et al.*, 2023).

Dampak Polusi Visual Terhadap Ekosistem

Ketika tata ruang suatu tempat tidak diatur dengan baik, terjadi polusi visual. Tata ruang kota yang tidak teratur dapat mengganggu pandangan manusia; contoh polusi visual termasuk pembangunan monumen yang tidak relevan, banyaknya papan iklan di pinggir jalan, kabel listrik yang berantakan, dan tumpukan sampah di tepi jalan. Papan petunjuk jalan yang sulit dilihat dapat mengganggu pengemudi saat berkendara. Selain itu, tumpukan sampah di jalan dapat mengganggu penciuman dan menimbulkan bau tak sedap. Banyak efek buruk yang disebabkan oleh polusi ini menuntut kita untuk bertanggung jawab atas lingkungan kita. Kita harus mulai dengan diri kita sendiri untuk membuat lingkungan kita bersih, nyaman, dan aman. Kita akan dapat melakukan berbagai aktivitas dengan lebih baik dan lancar dengan menciptakan lingkungan seperti itu (Mukono, 2010).

Daftar Pustaka

- Andil Putri Pratama Dharma Laksana (2024) 'Kebijakan Internasional Dalam Pengelolaan Dampak Zat Radioaktif Fukushima Terhadap Manusia Dan Lingkungan', *Jurnal Arajang*, 6(2), pp. 73–90. doi:10.31605/arajang.v6i2.3339.
- Apriani, Haetami Lutfiah Putri Rizki, R. (2023) 'Analisis Pembangunan Pltu Terhadap Pencemaran Udara Dan Ekosistem Laut Berdasarkan Peraturan Perundang-Undangan', *Jurnal Penelitian Sosial dan Politik*, 12(2), pp. 418–431.
- Damaianto, B. and Masduqi, A. (2014) 'Indeks Pencemaran Air Laut Pantai Utara Tuban dengan Parameter Logam', *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), pp. 1–3.
- Elvania, N.C. *et al.* (2023) 'Analisis Kesuburan Tanah di Pertambangan Minyak Tradisional Desa Wonocolo Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro', *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(2), pp. 42–49. doi:10.33084/mitl.v8i2.5350.
- Ewimia Darza, S. (2020) 'Dampak Pencemaran Bahan Kimia Dari Perusahaan Kapal Indonesia Terhadap Ekosistem Laut', *jurnal ilmiah MEA*, 4(3), pp. 1831–1852.
- Febrianti, S.K.D. *et al.* (2023) 'Dampak Limbah Nuklir Negara Jepang dan Prancis Terhadap Lingkungan dan Kesehatan', *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Lingkungan Wilayah Pesisir*, 1(2), pp. 69–74. Available at: <https://journal.bengkuluinstitute.com/index.php/JEMMIES>.
- Firdaus, M.D. *et al.* (2022) 'Analisis Dampak Polusi Cahaya Lampu Artifisial Terhadap Kecerlangan Langit Malam Menggunakan Sky Quality Meter', *Elfalaky*, 6(2), pp. 197–206. doi:10.24252/ifk.v6i2.33787.
- Krisna Wijaya, M.G., Destiyani, I. and Rahayu, R. (2024) 'Identifikasi Dampak Perubahan Suhu Pada Dataran Tinggi Dieng, Jawa Tengah', *Jurnal Ekologi, Masyarakat dan Sains*, 5(1), pp. 33–38. doi:10.55448/02d0tt33.

- Ma'rifah, N.S. (2023) 'Upaya Masyarakat dalam Penanggulangan Polusi Udara Akibat Asap Pabrik Geo Dipa Dieng Banjarnegara', *Al-DYAS*, 2(3), pp. 612–622. doi:10.58578/alldyas.v2i3.1484.
- Mukono, J. (2010) *Toksikologi Lingkungan*. II. Surabaya: Airlangga University Press.
- Muyassar, M., Budianta, W. and Warmada, I.W. (2021) 'Pencemaran Tanah Oleh Pb, Cu, Zn Dan Cd Di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (Tpa)Sampah Piyungan,Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta', *Universitas Gadjah Mada* [Preprint]. Available at: <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/202623>.
- Sugianto, R.N.A., Yosomulyono, S. and Meilasari, F. (2020) 'Analisis Dampak Kebisingan yang Terjadi di Kawasan Lingkungan Tambang Granit PT. Hansindo Mineral Persada', *JeLAST: Jurnal Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, 7(1), pp. 1–7. Available at: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/43558>.
- Supriatna, S., Siahaan, S. and Restiaty, I. (2021) 'Pencemaran Tanah Oleh Pestisida Di Perkebunan Sayur Kelurahan Eka Jaya Kecamatan Jambi Selatan Kota Jambi (Studi Keberadaan Jamur Makroza dan Cacing Tanah)', *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 21(1), p. 460. doi:10.33087/jiubj.v21i1.1348.
- Utomo, Suyud Warno; Sutriyono; Rizal, R. (2015) 'Pengertian, Ruang Lingkup Ekologi dan Ekosistem', *Modul 1*, pp. 1–31.
- Zahro, A. *et al.* (2023) 'Pengaruh Limbah Nuklir Terhadap Perkembangan Tulang Belakang Janin Hewan The Effect of Nuclear Waste on the Development of the Animal Fetal Spine', *Pengelolaan sumberdaya Alam Lingkungan Wilayah Pesisir*, 1, pp. 17–22.


PROFIL PENULIS



Serlly Frida Drastyana, S.KM., M.KL.

Penulis dilahirkan di Mojokerto, Jawa Timur pada tanggal 10 Desember 1987. Tahun 2005 penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Airlangga Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat dan lulus tahun 2009. Pendidikan S2 di Program Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Airlangga pada tahun 2012 dan diselesaikan pada tahun 2014. Penulis merupakan Dosen Program Studi S1 Administrasi Rumah Sakit STIKES Yayasan RS Dr Soetomo. Bidang Keilmuan penulis adalah Lingkungan, Kesehatan Lingkungan, Epidemiologi, Biostatistika dan Kesehatan Masyarakat. Beberapa karya lainnya seperti Jurnal International bereputasi, jurnal nasional terakreditasi dan referensi yang telah penulis publikasikan sebagai produktivitas tenaga pengajar. Hibah penelitian juga didapatkan tahun 2018, 2020, dan 2022. Penulis juga aktif dalam publikasikan beberapa buku antologi. Penulis aktif menulis dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Email Penulis: serlly_frida@stikes-yrsds.ac.id



BAB 10
PENGEMBANGAN
KOMUNITAS DALAM
PENANGGULANGAN
DAMPAK TOKSIKOLOGI
LINGKUNGAN

Ayu Mardian, S.KM., M.Kes.
Poltekkes Kemenkes Padang



umpan balik yang datang langsung dari anggota komunitas yang menjadi sasaran program. Feedback atau umpan balik ini sangat penting untuk menilai apakah program yang dilaksanakan benar-benar efektif, relevan, dan sesuai dengan kebutuhan serta aspirasi komunitas tersebut.

a. Survei dan Wawancara dengan Masyarakat

Salah satu metode untuk mendapatkan umpan balik adalah melalui survei atau wawancara dengan anggota komunitas. Survei dapat mencakup pertanyaan-pertanyaan yang berkaitan dengan tingkat pemahaman masyarakat mengenai toksikologi lingkungan, apakah mereka merasa lebih aman dan lebih sadar akan risiko toksikologi setelah mengikuti program, serta apakah mereka merasa lebih berdaya dalam mengelola risiko tersebut. Hasil dari survei ini dapat memberikan gambaran yang jelas tentang sejauh mana perubahan terjadi dalam perspektif dan perilaku masyarakat terhadap isu-isu toksikologi lingkungan.

b. Pertemuan dan Diskusi Kelompok (*Focus Group Discussion*)

Pendekatan lain yang dapat digunakan untuk mendapatkan umpan balik dari komunitas adalah dengan mengadakan diskusi kelompok terarah atau Focus Group Discussion (FGD). Dalam FGD, sekelompok kecil anggota komunitas dapat berdiskusi tentang pengalaman mereka dengan program yang telah diterapkan, tantangan yang mereka hadapi, serta saran-saran untuk perbaikan. Diskusi ini memberikan kesempatan kepada anggota komunitas untuk berbagi pengalaman secara lebih mendalam dan memberikan perspektif yang lebih kaya tentang bagaimana program berdampak pada kehidupan mereka.

c. Peningkatan Partisipasi dalam Proses Evaluasi

Salah satu prinsip utama dalam evaluasi berbasis komunitas adalah melibatkan masyarakat dalam proses evaluasi itu sendiri. Ini dapat dilakukan dengan mengajak perwakilan masyarakat untuk menjadi bagian dari tim evaluasi atau memberikan kesempatan kepada mereka untuk berpartisipasi dalam penyusunan indikator keberhasilan. Partisipasi aktif dari komunitas dalam proses evaluasi meningkatkan rasa kepemilikan terhadap program, memastikan bahwa evaluasi

mencerminkan kebutuhan lokal, dan mendorong keterlibatan yang lebih besar dalam upaya mitigasi toksikologi.

d. Menilai Kesesuaian Program dengan Kebutuhan Lokal

Feedback dari komunitas juga membantu menilai apakah program yang dijalankan sesuai dengan kebutuhan lokal mereka. Setiap komunitas memiliki konteks sosial, ekonomi, dan budaya yang unik, dan oleh karena itu, program mitigasi toksikologi yang berhasil di satu tempat belum tentu cocok untuk tempat lain. Melalui umpan balik, pihak pengelola program dapat menilai apakah pendekatan yang digunakan sudah cukup relevan dan efektif untuk menghadapi tantangan toksikologi yang spesifik di wilayah tersebut.

Evaluasi dan pengukuran keberhasilan merupakan aspek penting dalam memastikan efektivitas program pengembangan komunitas dalam penanggulangan toksikologi lingkungan. Indikator keberhasilan yang jelas dan terukur—terutama yang berfokus pada pengurangan paparan bahan berbahaya, peningkatan kualitas hidup masyarakat, dan implementasi kebijakan berbasis komunitas—harus digunakan untuk menilai dampak program. Selain itu, umpan balik dari masyarakat sangat penting dalam menilai apakah program tersebut relevan, efektif, dan memenuhi kebutuhan mereka. Melalui evaluasi yang berkelanjutan dan berbasis komunitas, kita dapat memastikan bahwa upaya mitigasi toksikologi lingkungan tidak hanya berhasil dalam jangka pendek, tetapi juga dapat terus berkembang untuk mencapai keberlanjutan dan ketahanan jangka panjang.

Daftar Pustaka

- Abara, W., Wilson, S., Vena, J., Sanders, L., Bevington, T., Culley, J. M., Annang, L., Dalemarre, L., & Svendsen, E. (2014). Engaging a chemical disaster community: Lessons from Graniteville. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(6), 5684–5697. <https://doi.org/10.3390/ijerph110605684>
- Baldwin, J. A., Trotter, R. T., Remiker, M., Loren Buck, C., Aguirre, A., Milner, T., Torres, E., & von Hippel, F. A. (2021). A Community-Engaged Approach to Environmental Health Research: Process and Lessons Learned. *Progress in Community Health Partnerships: Research, Education, and Action*, 15(4), 533–540. <https://doi.org/10.1353/cpr.2021.0043>
- Calloway, E. E., Chiappone, A. L., Schmitt, H. J., Sullivan, D., Gerhardstein, B., Tucker, P. G., Rayman, J., & Yaroch, A. L. (2020). Exploring community psychosocial stress related to per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) contamination: Lessons learned from a qualitative study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238706>
- Clapp, J. T., Roberts, J. A., Dahlberg, B., Berry, L. S., Jacobs, L. M., Emmett, E. A., & Barg, F. K. (2016). Realities of environmental toxicity and their ramifications for community engagement. *Social Science and Medicine*, 170, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2016.10.019>
- Clements, W. H., & Rohr, J. R. (2009). Community responses to contaminants: using basic ecological principles to predict ecotoxicological effects. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(9), 1789–1800. <https://doi.org/10.1897/09-140.1>
- George, C. M., Van Geen, A., Slavkovich, V., Singha, A., Levy, D., Islam, T., Ahmed, K. M., Moon-Howard, J., Tarozzi, A., Liu, X., Factor-Litvak, P., & Graziano, J. (2012). A cluster-based randomized controlled trial promoting community participation in arsenic mitigation

- efforts in Bangladesh. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-41>
- Gervich, C. D. (2016). Social-ecological systems mapping to enhance students' understanding of community-scale conflicts related to industrial pollution. In *Learner-Centered Teaching Activities for Environmental and Sustainability Studies* (pp. 233-238). https://doi.org/10.1007/978-3-319-28543-6_31
- Hashad, K., Yang, B., Baldauf, R. W., Deshmukh, P., Isakov, V., & Zhang, K. M. (2020). Enhancing the local air quality benefits of roadside green infrastructure using low-cost, impermeable, solid structures (LISS). *Science of the Total Environment*, 717. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137136>
- Haynes, E. N., Elam, S., Burns, R., Spencer, A., Yancey, E., Kuhnell, P., Alden, J., Walton, M., Reynolds, V., Newman, N., Wright, R. O., Parsons, P. J., Praamsma, M. L., Palmer, C. D., & Dietrich, K. N. (2016). Community engagement and data disclosure in environmental health research. *Environmental Health Perspectives*, 124(2), A24-A27. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510411>
- Limaye, V. S., Knowlton, K., Sarkar, S., Ganguly, P. S., Pingle, S., Dutta, P., Sathish, L. M., Tiwari, A., Solanki, B., Shah, C., Raval, G., Kakkad, K., Beig, G., Parkhi, N., Jaiswal, A., & Mavalankar, D. (2018). Development of ahmedabad's air information and response (Air) plan to protect public health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph15071460>
- McIntyre, A., Heidari, L., Hagen, M., Bongiovanni, R., Bowman, B. N., Fabian, P., Kinney, P., & Scammell, M. K. (2024). Extreme Heat and Air Quality: Community Leader Perspectives on Information Barriers and Opportunities in Two Environmental Justice Communities. *New Solutions*. <https://doi.org/10.1177/10482911241290557>

- Priestly, B. G., Marco, P. D., Sim, M., Moore, M. R., & Langley, A. (2007). Toxicology in Australia: A key component of environmental health. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues*, 70(19), 1578–1583. <https://doi.org/10.1080/15287390701429505>
- Rajan, M., Karunanidhi, D., Jaya, J., Preethi, B., Subramani, T., & Aravinthasamy, P. (2024). A comprehensive review on human health hazards due to groundwater contamination: A global perspective. *Physics and Chemistry of the Earth*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103637>
- Reams, M. A., & Irving, J. K. (2019). Applying community resilience theory to engagement with residents facing cumulative environmental exposure risks: lessons from Louisiana's industrial corridor. *Reviews on Environmental Health*, 34(3), 235–244. <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0022>
- Ron, S., Dimitri, N., Ginzburg, S. L., Reisner, E., Martinez, P. B., Zamore, W., Echevarria, B., Brugge, D., & Martinez, L. S. S. (2021). Health lens analysis: A strategy to engage community in environmental health research in action. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su13041748>
- Sanchez, Y. A., Deener, K., Hubal, E. C., Knowlton, C., Reif, D., & Segal, D. (2010). Research needs for community-based risk assessment: Findings from a multi-disciplinary workshop. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 20(2), 186–195. <https://doi.org/10.1038/jes.2009.8>
- Solomon, G. M., Morello-Frosch, R., Zeise, L., & Faust, J. B. (2016). Cumulative Environmental Impacts: Science and Policy to Protect Communities. *Annual Review of Public Health*, 37, 83–96. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032315-021807>
- Sprague Martinez, L., Dimitri, N., Ron, S., Hudda, N., Zamore, W., Lowe, L., Echevarria, B., Durant, J. L., Brugge, D., & Reisner, E. (2020). Two communities, one highway and the fight for clean air: the role of political history in shaping community engagement and

- environmental health research translation. *BMC Public Health*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09751-w>
- Stokes IV, S. C., Hood, D. B., Zokovitch, J., & Close, F. T. (2010). Blueprint for communicating risk and preventing environmental injustice. *Journal of Health Care for the Poor and Underserved*, 21(1), 35–52. <https://doi.org/10.1353/hpu.0.0234>
- Sullivan, J., & Lloyd, R. S. (2006). The forum theatre of Augusto boal: A dramatic model for dialogue and community-based environmental science. *Local Environment*, 11(6), 627–646. <https://doi.org/10.1080/13549830600853684>
- Sullivan, J., Petronella, S., Brooks, E., Murillo, M., Primeau, L., & Ward, J. (2008). Theatre of the oppressed and environmental justice communities: A transformational therapy for the body politic. *Journal of Health Psychology*, 13(2), 166–179. <https://doi.org/10.1177/1359105307086710>
- Wingfield, R. C. (2009). Reducing community exposure to toxics: A critical component in building healthy and sustainable communities. *Proceedings of the 2007 National Conference on Environmental Science and Technology*, 139–147. https://doi.org/10.1007/978-0-387-88483-7_19
- Zartarian, V. G., & Schultz, B. D. (2010). The EPA's human exposure research program for assessing cumulative risk in communities. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 20(4), 351–358. <https://doi.org/10.1038/jes.2009.20>

PROFIL PENULIS



Ayu Mardian, S.KM., M.Kes.

lahir di Payakumbuh pada 30 September 1982. Bekerja sebagai Dosen Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang di Jurusan Kesehatan Gigi, mengajar dalam area ilmu promosi kesehatan, ilmu perilaku, menempuh jenjang pendidikan Diploma 3 Kesehatan gigi Poltekkes Kemenkes Jakarta 1, S1 Promosi Kesehatan

Universitas Fort de kock, S2 Ilmu Kedokteran Gigi Komunitas FKG Universitas Indonesia dan saat ini sedang menempuh Pendidikan Strata 3 di FKM Universitas Indonesia dengan peminatan dibidang community health development.

Email: ayumardian5@gmail.com

Pengantar TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

Buku Pengantar Toksikologi Lingkungan merupakan sumber referensi penting untuk memahami bagaimana bahan kimia dan polutan memengaruhi lingkungan serta kesehatan manusia. Ditulis dengan pendekatan yang sistematis, buku ini menggabungkan teori dasar dengan aplikasi praktis, menjadikannya ideal untuk mahasiswa, peneliti, dan profesional di bidang lingkungan, kesehatan, serta industri terkait. Buku ini berisi tentang berbagai aspek yang berkaitan dengan toksikologi lingkungan yang tersusun dalam beberapa bab, dimulai dengan pembahasan tentang konsep dasar toksikologi lingkungan, sumber dan jenis polutan lingkungan, jalur paparan dan risiko kesehatan, mekanisme toksisitas pada organisme hidup, efek biologis zat toksik, biokumulasi dan biotransformasi, dampak toksikologi lingkungan terhadap kesehatan, pencemaran lingkungan, dampak polusi ekosistem, serta pengembangan komunitas dalam penanggulangan dampak toksikologi lingkungan.