

Paparan Bahan Kimia Berbahaya dan Risiko Kesehatan Tinjauan Risiko Kesehatan Akibat Paparan Logam Berat Pestisida dan Bisfenol A BPA pada Populasi Rentan

Elisabet Wednesday Purba^{a*}, Triana Srisantyorini^a, Suherman Jaksa^a

^a Program Magister Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Received : 29-05-2026

Revised : 15-06-2026

Accepted : 20-06-2026

Keywords: BPA, Hazardous Chemicals, Health Risks, Heavy Metals, Pesticides

Kata Kunci: Bahan Kimia Berbahaya, BPA, Logam Berat, Pestisida, Risiko Kesehatan

Corresponding Author:

wendypurba25@gmail.com*

DOI: <https://doi.org/10.62335>

ABSTRACT

Exposure to harmful chemicals in the environment, such as heavy metals (lead, mercury, and cadmium), pesticides, and Bisphenol A (BPA), is a growing global public health problem due to industrial activities, agriculture, and the use of chemical-based products in daily life. This study aims to analyze the health risks due to exposure to these chemicals in vulnerable populations through a systematic literature review approach. Data was collected from national and international scientific journals published in the 2015–2025 period through databases such as Google Scholar, PubMed, and ScienceDirect. The results of the study show that heavy metals have the main toxic effects in the form of neurological developmental disorders in children, decreased cognitive function, and damage to liver and kidney organs. Pesticides are associated with an increased risk of nervous system disorders, respiratory diseases, and some types of cancer such as leukemia. Meanwhile, BPA is known to play an endocrine disruptor role that can cause hormonal disorders, obesity, and reproductive problems. The population most vulnerable to these impacts are children as well as workers in the agricultural and industrial sectors due to the high intensity of exposure. The conclusion of this study confirms that exposure to hazardous chemicals has a significant impact on human health, so it is necessary to strengthen regulations, environmental monitoring, and public education to minimize future health risks.

ABSTRAK

Paparan bahan kimia berbahaya di lingkungan, seperti logam berat (timbal, merkuri, dan kadmium), pestisida, serta Bisphenol A (BPA), merupakan masalah kesehatan masyarakat global yang semakin meningkat akibat aktivitas industri, pertanian, dan penggunaan produk berbasis kimia dalam kehidupan sehari-hari. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan akibat

paparan bahan kimia tersebut pada populasi rentan melalui pendekatan tinjauan literatur sistematis. Data dikumpulkan dari jurnal ilmiah nasional dan internasional yang diterbitkan pada rentang tahun 2015–2025 melalui database seperti Google Scholar, PubMed, dan ScienceDirect. Hasil kajian menunjukkan bahwa logam berat memiliki efek toksik utama berupa gangguan perkembangan neurologis pada anak, penurunan fungsi kognitif, serta kerusakan organ hati dan ginjal. Pestisida berhubungan dengan peningkatan risiko gangguan sistem saraf, penyakit pernapasan, dan beberapa jenis kanker seperti leukemia. Sementara itu, BPA diketahui berperan sebagai endocrine disruptor yang dapat menyebabkan gangguan hormonal, obesitas, dan masalah reproduksi. Populasi yang paling rentan terhadap dampak tersebut adalah anak-anak serta pekerja di sektor pertanian dan industri karena tingginya intensitas paparan. Kesimpulan dari studi ini menegaskan bahwa paparan bahan kimia berbahaya memberikan dampak signifikan terhadap kesehatan manusia sehingga diperlukan penguatan regulasi, pengawasan lingkungan, dan edukasi masyarakat untuk meminimalkan risiko kesehatan di masa mendatang.

PENDAHULUAN

Paparan bahan kimia berbahaya di lingkungan menjadi salah satu isu kesehatan yang terus meningkat seiring dengan perkembangan industri, perluasan sektor pertanian, serta proses urbanisasi yang berlangsung cepat di berbagai wilayah. Berbagai aktivitas manusia menghasilkan dan menyebarkan zat kimia yang dapat mencemari lingkungan, seperti logam berat yang terdiri dari timbal, merkuri, dan kadmium, kemudian pestisida yang digunakan secara luas dalam pertanian, serta Bisphenol A (BPA) yang banyak ditemukan pada produk plastik dan kemasan makanan. Zat-zat ini dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui air minum yang terkontaminasi, makanan yang terpapar residu kimia, udara yang tercemar, serta kontak langsung melalui aktivitas kerja maupun penggunaan produk sehari-hari. Kondisi ini menyebabkan paparan tidak hanya terjadi pada kelompok tertentu, tetapi sudah menjadi bagian dari kehidupan masyarakat modern, terutama di daerah dengan pengawasan lingkungan yang masih terbatas.

Akumulasi bahan kimia tersebut dalam tubuh manusia menjadi perhatian penting karena sifatnya yang sulit terurai dan dapat bertahan dalam waktu lama. Logam berat misalnya, memiliki kemampuan untuk menumpuk dalam jaringan tubuh seperti tulang, hati, dan ginjal, sehingga efek kerusakan dapat muncul setelah paparan berlangsung dalam jangka waktu panjang. Pestisida yang masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi atau konsumsi makanan dapat memengaruhi sistem saraf dan proses metabolisme tubuh. BPA yang berasal dari plastik dan bahan kemasan dapat mengganggu sistem hormonal karena

memiliki sifat menyerupai hormon estrogen dalam tubuh manusia. Gangguan ini tidak hanya berdampak pada fungsi organ tertentu, tetapi juga dapat memengaruhi sistem tubuh secara menyeluruh, termasuk perkembangan otak, sistem reproduksi, serta keseimbangan metabolisme.

Kelompok yang memiliki tingkat kerentanan lebih tinggi terhadap paparan bahan kimia ini meliputi anak-anak, ibu hamil, serta pekerja yang berada di sektor industri dan pertanian. Anak-anak memiliki sistem tubuh yang masih dalam tahap perkembangan, sehingga paparan bahan kimia dalam jumlah kecil sekalipun dapat memberikan dampak yang lebih besar terhadap perkembangan otak dan pertumbuhan fisik. Ibu hamil memiliki risiko tambahan karena zat berbahaya yang masuk ke dalam tubuh dapat memengaruhi perkembangan janin. Pekerja industri dan pertanian juga menghadapi risiko tinggi akibat paparan langsung dan berulang terhadap bahan kimia selama aktivitas kerja berlangsung, terutama jika penggunaan alat pelindung diri tidak optimal atau standar keselamatan kerja belum diterapkan secara ketat.

Perbedaan tingkat paparan serta dampaknya pada berbagai kelompok masyarakat menunjukkan adanya variasi risiko yang dipengaruhi oleh lingkungan tempat tinggal, jenis pekerjaan, serta kebiasaan penggunaan produk sehari-hari. Kondisi ini menimbulkan kebutuhan untuk memahami lebih jauh bagaimana hubungan antara paparan bahan kimia berbahaya dengan dampak kesehatan yang ditimbulkan pada manusia, terutama pada kelompok yang memiliki tingkat kerentanan lebih tinggi. Pemahaman tersebut menjadi dasar penting dalam upaya pencegahan, pengendalian paparan, serta pengembangan kebijakan kesehatan lingkungan yang lebih efektif untuk melindungi masyarakat dari risiko jangka panjang akibat bahan kimia berbahaya.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur sistematis untuk mengkaji hubungan antara paparan bahan kimia berbahaya dan dampak kesehatan pada manusia. Data yang digunakan berasal dari jurnal ilmiah nasional dan internasional yang diterbitkan dalam rentang waktu 2015 hingga 2025. Pemilihan periode tersebut bertujuan untuk memperoleh informasi yang masih relevan dengan perkembangan penelitian terbaru mengenai toksikologi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Sumber data diperoleh melalui beberapa database ilmiah seperti Google Scholar, PubMed, dan ScienceDirect yang memiliki cakupan luas terhadap publikasi ilmiah di bidang kesehatan lingkungan, kedokteran, dan ilmu lingkungan. Proses pencarian artikel menggunakan beberapa kata kunci utama yang disesuaikan dengan topik penelitian, antara lain *heavy metals exposure*, *pesticide health effects*, dan *BPA endocrine disruption*. Kata kunci tersebut digunakan untuk menjaring artikel yang membahas hubungan antara paparan bahan kimia tertentu dengan dampak kesehatan yang ditimbulkan pada manusia.

Seleksi artikel dilakukan berdasarkan beberapa kriteria yang telah ditentukan. Artikel yang dimasukkan dalam kajian adalah artikel yang membahas paparan bahan kimia lingkungan yang mencakup logam berat seperti timbal, merkuri, dan kadmium, pestisida yang banyak digunakan dalam sektor pertanian, serta Bisphenol A yang terdapat pada berbagai produk plastik dan kemasan makanan. Selain itu, artikel yang dipilih harus menjelaskan dampak kesehatan yang terjadi pada manusia, baik dalam bentuk gangguan sistem saraf, gangguan hormonal, gangguan organ, maupun penyakit kronis lainnya. Kriteria berikutnya adalah adanya kejelasan populasi target yang diteliti, seperti anak-anak, pekerja industri, pekerja pertanian, ibu hamil, atau masyarakat umum, sehingga dapat diketahui kelompok mana yang memiliki tingkat risiko lebih tinggi terhadap paparan bahan kimia tersebut.

Proses analisis data dilakukan secara deskriptif dengan cara mengelompokkan hasil temuan berdasarkan jenis bahan kimia yang diteliti. Setiap kelompok bahan kimia dianalisis berdasarkan jenis dampak kesehatan yang muncul serta populasi yang paling banyak terdampak. Data yang telah terkumpul kemudian dibandingkan untuk melihat pola hubungan antara tingkat paparan dan efek kesehatan yang ditimbulkan. Hasil analisis disusun secara sistematis untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai karakteristik risiko dari masing-masing bahan kimia terhadap kesehatan manusia.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Literatur yang Dikaji

Kajian ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur sistematis terhadap artikel ilmiah yang diterbitkan pada rentang tahun 2015–2025. Sumber data diperoleh dari database Google Scholar, PubMed, dan ScienceDirect menggunakan kata kunci *heavy metals exposure*, *pesticide health effects*, dan *BPA endocrine disruption*. Artikel yang memenuhi kriteria inklusi mencakup pembahasan tentang paparan bahan kimia lingkungan, dampak kesehatan pada manusia, serta kejelasan populasi target yang diteliti.

Tabel 1. Distribusi Literatur Berdasarkan Jenis Bahan Kimia yang Dikaji

No	Jenis Bahan Kimia	Jumlah Referensi Utama	Fokus Kajian Utama
1	Logam Berat (Pb, Hg, Cd)	7 studi	Akumulasi jaringan, gangguan saraf, kerusakan organ
2	Pestisida	3 studi	Neurotoksisitas, risiko kanker, gangguan pernapasan
3	Bisphenol A (BPA)	2 studi	Gangguan endokrin,

No	Jenis Bahan Kimia	Jumlah Referensi Utama	Fokus Kajian Utama
4	Kombinasi/Umum	2 studi	reproduksi, metabolisme Pencemaran multi-sumber, penilaian risiko kesehatan
Total		14 studi	

Sumber: Diolah dari tinjauan literatur sistematis (2025)

Hasil Kajian: Dampak Logam Berat terhadap Kesehatan

Logam berat merupakan kelompok bahan kimia yang paling banyak dikaji dalam literatur yang ditelaah. Rangkuti dkk. (2024) dalam kajian perbandingan pencemaran di negara-negara ASEAN menemukan bahwa kontaminasi pestisida dan logam berat masih menjadi permasalahan serius di kawasan ini, dengan variasi tingkat pencemaran yang signifikan antar negara tergantung pada intensitas aktivitas industri dan pertanian.

Tabel 2. Ringkasan Dampak Kesehatan Akibat Paparan Logam Berat

No	Jenis Logam Berat	Sumber Paparan Utama	Organ/Sistem yang Terdampak	Dampak Kesehatan	Populasi Paling Rentan
1	Timbal (Pb)	Air minum terkontaminasi, debu industri, cat berbahan timbal	Sistem saraf pusat, darah, tulang	Gangguan perkembangan otak, penurunan IQ, gangguan perilaku, anemia	Anak-anak, ibu hamil
2	Merkuri (Hg)	Ikan yang terkontaminasi, limbah industri, tambang emas	Sistem saraf pusat, ginjal, hati	Kerusakan neuron, gangguan fungsi kognitif, tremor, gangguan bicara	Anak-anak, pekerja tambang
3	Kadmium (Cd)	Tanah	Ginjal, tulang,	Kerusakan	Pekerja

No	Jenis Logam Berat	Sumber Paparan Utama	Organ/Sistem yang Terdampak	Dampak Kesehatan	Populasi Paling Rentan
		pertanian tercemar, asap rokok, limbah industri	hati	ginjal kronis, osteoporosis, gangguan metabolisme kalsium	industri, perokok

Sumber: Hindarwati dkk. (2023); Handayani dkk. (2023); Vitasari dkk. (2023); Fitrawansyah dkk. (2024)

Handayani dkk. (2023) dalam kajian distribusi dan penilaian risiko kesehatan logam berat pada lahan pertanian menegaskan bahwa akumulasi logam berat di tanah pertanian merupakan jalur paparan yang sangat signifikan bagi masyarakat yang mengonsumsi produk pertanian dari lahan tersebut. Sementara itu, Hindarwati dkk. (2023) menemukan bahwa kontaminan logam berat Pb, Cd, dan Cu pada tanah yang berasal dari pemupukan berbasis jerami padi menunjukkan konsentrasi yang bervariasi namun tetap berpotensi memberikan risiko kesehatan jangka panjang bagi petani dan konsumen.

Tabel 3. Mekanisme Toksisitas Logam Berat dalam Tubuh Manusia

No	Mekanisme Toksisitas	Logam Berat Terkait	Efek pada Tubuh
1	Akumulasi dalam jaringan tulang dan darah	Timbal (Pb)	Mengganggu pembentukan hemoglobin dan transmisi saraf
2	Penghambatan enzim antioksidan	Merkuri (Hg), Kadmium (Cd)	Meningkatkan stres oksidatif pada sel
3	Penumpukan di tubulus ginjal	Kadmium (Cd)	Merusak fungsi filtrasi ginjal secara progresif
4	Kompetisi dengan mineral esensial	Timbal (Pb), Kadmium (Cd)	Menghambat absorpsi kalsium, zat besi, dan zinc
5	Kerusakan sel hati (hepatotoksisitas)	Merkuri (Hg)	Gangguan fungsi metabolisme dan detoksifikasi

Sumber: Handayani dkk. (2023); Vitasari dkk. (2023); Dewi dkk. (2023)

Vitasari dkk. (2023) dalam kajian distribusi kandungan logam berat Pb pada ekosistem perairan menemukan bahwa pencemaran timbal tidak hanya berdampak pada organisme akuatik, tetapi juga pada manusia melalui rantai makanan. Hal ini diperkuat oleh Fitrawansyah dkk. (2024) yang meneliti biokonsentrasi logam timbal (Pb) pada air dan ikan gabus di Sungai Belumai, di mana ditemukan akumulasi timbal pada jaringan ikan yang dapat menjadi sumber paparan bagi masyarakat yang mengonsumsinya.

Hasil Kajian: Dampak Pestisida terhadap Kesehatan

Tabel 4. Ringkasan Dampak Kesehatan Akibat Paparan Pestisida

No	Jenis Dampak	Sistem/Organ yang Terdampak	Mekanisme	Populasi Berisiko	Keterangan
1	Gangguan neurotoksik akut	Sistem saraf perifer dan pusat	Penghambatan enzim asetilkolinesterase	Pekerja pertanian	Tremor, kejang, penurunan koordinasi motorik
2	Gangguan neurotoksik kronis	Sistem saraf pusat	Degenerasi neuron akibat paparan berulang	Petani, pekerja penyemprot	Penurunan fungsi memori dan kognitif
3	Risiko kanker	Sistem imun, sel darah	Mutasi DNA dan gangguan proliferasi sel	Pekerja pertanian jangka panjang	Leukemia, limfoma non-Hodgkin
4	Gangguan pernapasan	Saluran pernapasan atas dan bawah	Iritasi langsung oleh aerosol pestisida	Semua kelompok terpapar	Batuk kronis, sesak napas, asma
5	Gangguan reproduksi	Sistem reproduksi	Interferensi hormonal	Ibu hamil, wanita usia subur	Gangguan kesuburan, risiko keguguran

Sumber: Rangkuti dkk. (2024); Handayani dkk. (2023); Mulyadi dkk. (2022)

Rangkuti dkk. (2024) dalam kajian perbandingan pencemaran pestisida di negara-negara ASEAN menyimpulkan bahwa penggunaan pestisida yang tidak terkontrol di

sektor pertanian merupakan salah satu penyebab utama meningkatnya risiko kesehatan pada populasi petani dan masyarakat yang tinggal di sekitar areal pertanian intensif. Mulyadi dkk. (2022) dalam pengujian kandungan logam berat pada air irigasi dan sayuran di kawasan industri juga menemukan bahwa residu bahan kimia pertanian dapat terdeteksi pada produk sayuran yang dikonsumsi masyarakat umum.

Tabel 5. Jalur Paparan Pestisida dan Tingkat Risiko

No	Jalur Paparan	Kelompok yang Terpapar	Tingkat Risiko	Faktor yang Memperburuk
1	Inhalasi langsung saat penyemprotan	Petani, pekerja penyemprot	Sangat Tinggi	Tidak menggunakan masker pelindung
2	Kontak kulit saat mencampur/mengaplikasikan	Petani tanpa APD lengkap	Tinggi	Kulit terluka, suhu panas meningkatkan absorpsi
3	Konsumsi makanan berresidu pestisida	Masyarakat umum, anak-anak	Sedang–Tinggi	Tidak mencuci sayuran dengan benar
4	Kontaminasi air minum dari lahan pertanian	Masyarakat di sekitar pertanian	Sedang	Tidak ada sistem filtrasi air
5	Paparan tidak langsung melalui tanah	Anak-anak yang bermain di area pertanian	Sedang	Kebiasaan bermain di tanah, oral behavior

Sumber: Rangkuti dkk. (2024); Mulyadi dkk. (2022)

Hasil Kajian: Dampak Bisphenol A (BPA) terhadap Kesehatan

Suyatma dkk. (2023) dalam estimasi risiko migrasi BPA dari kemasan logam pangan olahan di Indonesia menemukan bahwa perpindahan BPA dari kemasan ke makanan sangat dipengaruhi oleh faktor suhu penyimpanan dan lama kontak, di mana kondisi panas dan paparan jangka panjang secara signifikan meningkatkan laju migrasi BPA ke dalam produk pangan.

Tabel 6. Dampak Bisphenol A (BPA) sebagai Endocrine Disruptor

No	Sistem yang Terdampak	Mekanisme Gangguan	Dampak Klinis	Populasi Rentan
1	Sistem endokrin	BPA meniru kerja estrogen (xenoestrogen) sehingga mengaktifkan reseptor hormon secara tidak normal	Ketidakseimbangan hormonal, gangguan pubertas dini pada anak perempuan	Anak-anak, remaja perempuan
2	Sistem reproduksi pria	BPA mengganggu produksi dan kualitas sperma	Penurunan jumlah dan motilitas sperma, infertilitas	Pria usia reproduktif, remaja
3	Sistem reproduksi wanita	Interferensi dengan siklus estrogen alami	Gangguan siklus menstruasi, endometriosis, penurunan kesuburan	Wanita usia subur, ibu hamil
4	Metabolisme dan berat badan	BPA mengaktifkan reseptor yang mengatur penyimpanan lemak	Peningkatan risiko obesitas, resistensi insulin, diabetes tipe 2	Anak-anak, dewasa dengan paparan kronis
5	Perkembangan janin	BPA melewati plasenta dan memengaruhi regulasi gen	Gangguan perkembangan organ janin, risiko kelainan bawaan	Ibu hamil, janin
6	Sistem saraf	BPA memengaruhi perkembangan otak pada masa kritis	Gangguan perilaku, hiperaktivitas, penurunan fungsi kognitif	Anak-anak di bawah 5 tahun

Sumber: Suyatma dkk. (2023)

Tabel 7. Sumber Paparan BPA dalam Kehidupan Sehari-hari

No	Sumber Paparan	Produk yang Dimaksud	Mekanisme Pelepasan BPA	Cara Meminimalkan
1	Kemasan makanan kaleng	Kaleng makanan dan minuman dengan pelapis resin epoksi	BPA larut dari pelapis makanan, terutama pada makanan asam	Pilih produk berlabel BPA-free, batasi konsumsi makanan kaleng
2	Botol plastik polikarbonat	Botol minum plastik keras, botol susu bayi	BPA terlepas saat terkena panas atau dicuci berulang	Gunakan botol kaca atau stainless steel
3	Wadah makanan plastik	Kotak makan, wadah penyimpanan plastik	Pemanasan dalam microwave mempercepat pelepasan BPA	Hindari memanaskan makanan dalam wadah plastik
4	Struk belanja (thermal paper)	Bon/struk kasir berbahan kertas termal	BPA terserap melalui kulit saat memegang struk	Cuci tangan setelah memegang struk, hindari kontak lama
5	Mainan anak berbahan plastik	Mainan berbahan plastik keras	Paparan melalui oral (dimasukkan ke mulut) dan kontak kulit	Pilih mainan berlabel bebas BPA, berbahan kayu atau karet alami

Sumber: Suyatma dkk. (2023)

Perbandingan Risiko Antar Bahan Kimia

Tabel 8. Perbandingan Profil Risiko Logam Berat, Pestisida, dan BPA

No	Aspek Perbandingan	Logam Berat	Pestisida	BPA
1	Sifat kimia utama	Akumulatif, tidak terurai	Sebagian persisten, sebagian terdegradasi	Larut lemak, dapat melewati plasenta
2	Jalur paparan utama	Air, makanan, inhalasi debu	Inhalasi, kontak kulit, makanan	Makanan, kontak produk plastik

No	Aspek Perbandingan	Logam Berat	Pestisida	BPA
3	Onset dampak kesehatan	Jangka panjang (kronis)	Akut dan kronis	Kronis, terutama pada paparan dini
4	Sistem utama yang terdampak	Saraf, ginjal, hati	Saraf, imun, pernapasan	Endokrin, reproduksi, metabolisme
5	Reversibilitas dampak	Sebagian besar tidak reversibel	Sebagian reversibel (akut), kronis tidak	Sebagian reversibel jika paparan dihentikan
6	Populasi paling rentan	Anak-anak, ibu hamil	Pekerja pertanian	Ibu hamil, bayi, anak-anak
7	Tingkat risiko pada anak	Sangat Tinggi	Tinggi	Sangat Tinggi
8	Tingkat risiko pada pekerja	Tinggi	Sangat Tinggi	Sedang
9	Ketersediaan regulasi di Indonesia	Ada, belum optimal	Ada, belum optimal	Ada, sedang diperketat
10	Status penelitian di Indonesia	Banyak kajian tersedia	Banyak kajian tersedia	Masih terbatas

Sumber: Rangkuti dkk. (2024); Handayani dkk. (2023); Suyatma dkk. (2023); Hendarwati dkk. (2023)

Profil Kelompok Rentan

Tabel 9. Karakteristik dan Tingkat Kerentanan Kelompok Populasi Rentan

No	Kelompok Rentan	Faktor Kerentanan	Jenis Paparan yang Paling Berisiko	Dampak Spesifik	Kebutuhan Perlindungan
1	Anak-anak (0–12 tahun)	Sistem saraf dan organ masih	Timbal (Pb), BPA, pestisida residual pada	Gangguan perkembangan otak,	Pengawasan ketat produk mainan dan

No	Kelompok Rentan	Faktor Kerentanan	Jenis Paparan yang Paling Berisiko	Dampak Spesifik	Kebutuhan Perlindungan
		berkembang; aktivitas oral (memasukkan benda ke mulut); lebih banyak waktu bermain di tanah	makanan	penurunan IQ, gangguan perilaku dan belajar	makanan anak; pemantauan kadar timbal darah
2	Ibu hamil	Zat berbahaya melewati plasenta ke janin; perubahan metabolisme mempercepat absorpsi	BPA, merkuri (Hg), pestisida	Gangguan perkembangan janin, risiko kelahiran prematur, kelainan kongenital	Konseling risiko kimia selama kehamilan; regulasi ketat produk untuk ibu hamil
3	Bayi dan balita	Konsumsi ASI atau susu formula dari botol plastik; imunitas belum sempurna	BPA dari botol plastik, timbal dari cat dinding	Gangguan hormonal dini, hambatan tumbuh kembang	Promosi penggunaan botol kaca; inspeksi bahan bangunan tempat tinggal
4	Pekerja pertanian	Kontak langsung dan berulang dengan pestisida; jarang menggunakan APD lengkap	Pestisida organofosfat, karbamat, dan klorin	Neurotoksisitas kronis, risiko kanker, gangguan pernapasan	Pelatihan keselamatan kerja; penyediaan APD gratis; pemeriksaan kesehatan berkala

No	Kelompok Rentan	Faktor Kerentanan	Jenis Paparan yang Paling Berisiko	Dampak Spesifik	Kebutuhan Perlindungan
5	Pekerja industri	Paparan debu logam berat, uap kimia; durasi kerja panjang	Kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg)	Kerusakan ginjal kronis, gangguan paru, kanker	Monitoring kadar logam berat dalam darah/urin secara berkala; ventilasi kerja memadai
6	Masyarakat sekitar industri/pertanian	Kontaminasi air tanah dan tanah dari limbah industri/pertanian	Logam berat multi-jenis, pestisida	Penyakit kronis jangka panjang, gangguan reproduksi	Pemantauan kualitas air dan tanah rutin; edukasi masyarakat

Sumber: Hindarwati dkk. (2023); Handayani dkk. (2023); Suyatma dkk. (2023); Rangkuti dkk. (2024); Mulyadi dkk. (2022)

Pola Hubungan Paparan dan Dampak Kesehatan

Tabel 10. Hubungan Dosis-Respons dan Durasi Paparan terhadap Tingkat Dampak Kesehatan

No	Pola Paparan	Karakteristik	Jenis Dampak	Contoh Kasus
1	Paparan akut dosis tinggi	Terjadi seketika, konsentrasi besar, durasi singkat	Gejala muncul: pusing, kejang	Keracunan pestisida akut pada petani yang tidak menggunakan masker
2	Paparan kronis dosis rendah	Berlangsung bertahun-tahun, konsentrasi kecil, terus-menerus	Penyakit degeneratif, kanker, kerusakan organ permanen	Penumpukan kadmium di ginjal petani selama 10–20 tahun kerja
3	Paparan pada periode kritis	Terjadi pada masa janin atau	Gangguan permanen pada	Paparan BPA selama kehamilan

No	Pola Paparan	Karakteristik	Jenis Dampak	Contoh Kasus
	perkembangan	anak-anak	perkembangan otak dan organ	menyebabkan gangguan hormonal pada anak
4	Paparan multi-sumber bersamaan	Beberapa bahan kimia bersamaan	Efek sinergis yang memperbesar dampak dari masing-masing bahan kimia	Petani terpapar logam berat dari tanah sekaligus pestisida dari penyemprotan
5	Paparan melalui rantai makanan	Tidak langsung, melalui konsumsi makanan terkontaminasi	Dampak meluas ke populasi yang tidak berada di lokasi pencemaran	Konsumsi ikan yang mengandung merkuri dari perairan tercemar industri

Sumber: Vitasari dkk. (2023); Fitrawansyah dkk. (2024); Oktasari Handayani dkk. (2023); Suyatma dkk. (2023)

Status Pengawasan dan Regulasi di Indonesia

Tabel 11. Gambaran Regulasi dan Pengawasan Bahan Kimia Berbahaya di Indonesia

No	Bahan Kimia	Regulasi yang Ada	Instansi Pengawas	Tantangan Implementasi	Rekomendasi
1	Logam Berat	Permenkes tentang baku mutu air minum; standar kualitas pangan BPOM	Kementerian Lingkungan Hidup, BPOM, Dinas Kesehatan	Pengawasan belum merata terutama di daerah terpencil; keterbatasan laboratorium uji	Perluasan jaringan laboratorium; sanksi lebih tegas bagi industri pencemaran
2	Pestisida	Peraturan Menteri Pertanian tentang pendaftaran pestisida;	Kementerian Pertanian, BPOM	Penggunaan pestisida ilegal masih tinggi; kurangnya edukasi petani	Penguatan sistem pengawasan rantai distribusi; subsidi

No	Bahan Kimia	Regulasi yang Ada	Instansi Pengawas	Tantangan Implementasi	Rekomendasi
		batas maksimum residu (BMR)			pestisida aman
3	BPA	BPOM sedang memperketat regulasi pelabelan produk berbahan BPA	BPOM	Belum ada larangan total; kesadaran konsumen masih rendah	Percepatan regulasi pelarangan BPA pada produk bayi; kampanye nasional BPA-free

Sumber: Suyatma dkk. (2023); Rangkuti dkk. (2024); Hindarwati dkk. (2023)

Pembahasan

Hasil kajian menunjukkan bahwa bahan kimia berbahaya seperti logam berat, pestisida, dan Bisphenol A memiliki dampak yang luas terhadap berbagai sistem dalam tubuh manusia. Dampak tersebut tidak hanya terbatas pada satu organ, tetapi dapat memengaruhi beberapa sistem secara bersamaan, termasuk sistem saraf, sistem endokrin, sistem pernapasan, serta organ vital seperti hati dan ginjal. Setiap jenis bahan kimia memiliki mekanisme kerja yang berbeda dalam menimbulkan efek toksik, tetapi semuanya memiliki kesamaan dalam hal potensi gangguan kesehatan jangka panjang. Perbedaan mekanisme ini membuat dampak yang ditimbulkan menjadi kompleks dan sulit dipisahkan antara satu faktor dengan faktor lainnya dalam konteks paparan lingkungan.

Logam berat seperti timbal, merkuri, dan kadmium memiliki sifat akumulatif dalam tubuh manusia. Zat ini tidak mudah terurai dan dapat tertimbun dalam jaringan tubuh dalam waktu lama. Akumulasi tersebut menyebabkan efek yang tidak langsung terlihat pada awal paparan, tetapi muncul setelah paparan berlangsung dalam periode panjang. Sistem saraf menjadi salah satu target utama dari paparan logam berat, terutama pada anak-anak yang masih berada dalam tahap perkembangan. Gangguan pada sistem saraf dapat berdampak pada penurunan fungsi kognitif, gangguan perilaku, serta hambatan dalam perkembangan otak. Pada orang dewasa, paparan jangka panjang dapat memengaruhi kemampuan memori, konsentrasi, dan fungsi berpikir secara umum. Selain sistem saraf, organ lain seperti ginjal dan hati juga rentan mengalami kerusakan akibat akumulasi logam berat, karena kedua organ tersebut berperan dalam proses detoksifikasi dan penyaringan zat berbahaya dalam tubuh.

Pestisida memiliki mekanisme toksik yang berbeda dibandingkan logam berat. Zat ini bekerja dengan cara mengganggu fungsi enzim dalam tubuh serta memengaruhi transmisi sinyal pada sistem saraf. Gangguan ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan fungsi biologis yang berdampak pada kesehatan jangka panjang. Paparan pestisida yang terjadi secara terus-menerus dapat meningkatkan risiko penyakit degeneratif yang berkembang secara perlahan. Beberapa penelitian juga menunjukkan adanya hubungan antara paparan pestisida dengan peningkatan risiko gangguan neurologis serta beberapa jenis kanker. Kondisi ini sering ditemukan pada pekerja sektor pertanian yang memiliki kontak langsung dengan bahan kimia tersebut tanpa perlindungan yang memadai. Paparan yang berulang dalam jangka panjang menjadi faktor utama yang memperbesar risiko gangguan kesehatan.

Bisphenol A memiliki karakteristik yang berbeda karena bekerja sebagai endocrine disruptor. Zat ini dapat meniru atau mengganggu kerja hormon alami dalam tubuh manusia. Sistem hormon memiliki peran penting dalam mengatur berbagai fungsi tubuh, termasuk pertumbuhan, metabolisme, dan reproduksi. Gangguan pada sistem ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan fungsi tubuh yang cukup luas. Paparan BPA bahkan pada dosis rendah tetap dapat memberikan efek biologis karena sifatnya yang dapat berinteraksi dengan reseptor hormon. Dampak yang sering dikaitkan dengan BPA meliputi gangguan metabolisme seperti obesitas, gangguan pada sistem reproduksi, serta perubahan fungsi hormonal yang dapat memengaruhi berbagai proses fisiologis.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya, pola yang muncul menunjukkan kesamaan bahwa paparan jangka panjang memiliki dampak yang lebih besar dibandingkan paparan jangka pendek. Paparan kronis memberikan waktu yang cukup bagi zat kimia untuk terakumulasi dalam tubuh dan memicu perubahan biologis yang bersifat progresif. Sementara itu, paparan akut cenderung menimbulkan gejala yang lebih cepat terlihat tetapi tidak selalu memberikan dampak jangka panjang yang kompleks. Faktor lingkungan juga memiliki peran penting dalam menentukan tingkat risiko paparan, terutama di wilayah dengan tingkat pencemaran yang tinggi dan pengawasan lingkungan yang belum optimal. Kondisi ini sering ditemukan di negara berkembang, di mana aktivitas industri dan pertanian berkembang pesat tanpa diimbangi dengan sistem regulasi dan pengendalian yang ketat terhadap penggunaan bahan kimia berbahaya.

Keterbatasan dalam kajian ini terletak pada tidak digunakannya analisis kuantitatif seperti meta-analisis yang dapat memberikan gambaran lebih terukur mengenai besarnya risiko dari masing-masing bahan kimia. Pendekatan yang digunakan masih bersifat deskriptif sehingga hasil yang diperoleh lebih menekankan pada pola hubungan dan temuan umum dari berbagai penelitian yang telah dikaji. Hal ini menyebabkan tingkat presisi dalam pengukuran risiko belum dapat ditentukan secara statistik. Meskipun

demikian, hasil kajian tetap memberikan gambaran yang cukup jelas mengenai karakteristik dampak bahan kimia berbahaya terhadap kesehatan manusia serta memperlihatkan pentingnya pengendalian paparan di lingkungan untuk mengurangi risiko jangka panjang.

SIMPULAN, KETERBATASAN DAN SARAN

Paparan bahan kimia berbahaya yang berasal dari logam berat seperti timbal, merkuri, dan kadmium, penggunaan pestisida dalam kegiatan pertanian, serta keberadaan Bisphenol A pada berbagai produk plastik menunjukkan dampak yang nyata terhadap kesehatan manusia. Hasil kajian menunjukkan bahwa ketiga jenis bahan kimia tersebut memiliki mekanisme toksisitas yang berbeda, tetapi sama-sama memberikan pengaruh negatif terhadap berbagai sistem organ tubuh. Logam berat cenderung menimbulkan efek jangka panjang melalui proses akumulasi dalam jaringan tubuh, terutama pada sistem saraf, ginjal, dan hati. Pestisida memiliki dampak yang kuat terhadap sistem saraf dan juga dikaitkan dengan peningkatan risiko penyakit degeneratif serta beberapa jenis kanker. Sementara itu, Bisphenol A bekerja sebagai pengganggu sistem endokrin yang dapat memengaruhi keseimbangan hormon, metabolisme, serta sistem reproduksi manusia.

Kelompok masyarakat yang paling rentan terhadap paparan ini adalah anak-anak dan pekerja di sektor industri serta pertanian. Anak-anak memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi karena organ dan sistem tubuh masih dalam tahap perkembangan, sehingga paparan dalam jumlah kecil dapat memberikan dampak yang lebih besar terhadap pertumbuhan dan fungsi kognitif. Pekerja industri dan pertanian menghadapi risiko tinggi akibat paparan langsung dan berulang terhadap bahan kimia dalam aktivitas sehari-hari, terutama jika standar keselamatan kerja belum diterapkan secara optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan, jenis pekerjaan, serta tingkat paparan memiliki peran penting dalam menentukan besarnya risiko kesehatan yang dialami individu.

Upaya pengendalian paparan bahan kimia berbahaya menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak jangka panjang terhadap kesehatan masyarakat. Pengawasan terhadap penggunaan bahan kimia, peningkatan kualitas lingkungan, serta perlindungan terhadap kelompok rentan menjadi bagian penting dalam strategi pencegahan. Hasil kajian ini menegaskan bahwa dampak bahan kimia tidak hanya bersifat sementara, tetapi dapat memengaruhi kualitas hidup manusia dalam jangka panjang apabila tidak dilakukan pengendalian yang tepat.

Rekomendasi

Berdasarkan hasil dan kesimpulan yang ada maka penulis dapat merekomendasikan beberapa hal, antara lain: (i) Pemerintah perlu memperketat aturan terkait produksi,

distribusi, dan penggunaan bahan kimia berbahaya agar paparan terhadap masyarakat dapat diminimalkan; (ii) Pengawasan kualitas air, tanah, dan udara harus dilakukan secara berkala untuk mendeteksi adanya kontaminasi sejak dini dan mencegah penyebaran lebih luas; (iii) Program edukasi kepada masyarakat perlu ditingkatkan agar pemahaman mengenai risiko bahan kimia berbahaya semakin baik dan dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari; (iv) Pengembangan serta penggunaan bahan alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan perlu didorong untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan kimia berisiko tinggi; (v) Perlindungan terhadap pekerja di sektor industri dan pertanian harus diperkuat melalui penerapan standar keselamatan kerja, penggunaan alat pelindung diri, serta pelatihan rutin terkait penanganan bahan kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, T., Handayani, C. O., & Sukarjo. (2023). Analisis sumber dan risiko kesehatan logam berat di tanah pertanian. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.35>
- Fitrawansyah, R., et al. (2024). Lead contamination in aquatic ecosystems and bioaccumulation in fish. *BIOMA Journal*. <https://doi.org/10.20956/bioma.v9i1.31513>
- Fitrawansyah, R., Febriani, H., & Syukriah. (2024). Biokonsentrasi logam timbal (Pb) pada air dan ikan gabus di Sungai Belumai. *BIOMA: Jurnal Biologi Makassar*, 9(1). <https://doi.org/10.20956/bioma.v9i1.31513>
- Handayani, C. O., Zu'amah, H., Dewi, T., & Sukarjo. (2023). Karakteristik distribusi dan penilaian risiko kesehatan logam berat pada lahan pertanian. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. <https://doi.org/10.55981/jtl.2023.291>
- Hindarwati, Y., et al. (2023). Penilaian risiko kesehatan logam berat di tanah pertanian Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. <https://doi.org/10.14710/jil.21.1.8-14>
- Hindarwati, Y., Soeprobowati, T. R., Izzati, M., & Hadiyanto, H. (2023). Kontaminan logam berat Pb, Cd, dan Cu pada tanah dari pemupukan berbasis jerami padi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 8–14. <https://doi.org/10.14710/jil.21.1.8-14>
- Mulyadi, A., Supandi, G. A., & Ibrahim, Y. (2022). Uji kandungan logam berat pada air irigasi dan sayuran di kawasan industri. *Biosfer: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 7(2). <https://doi.org/10.23969/biosfer.v7i2.6820>
- Oktasari Handayani, C., Dewi, T., & Hidayah, A. (2023). Sebaran konsentrasi logam berat di lahan pertanian Kabupaten Wonosobo. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 515–521. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.35>
- Rangkuti, E. E., Anwar, S., Munif, A., & Siregar, I. Z. (2024). Perbandingan pencemaran pestisida dan logam berat di beberapa negara ASEAN: Systematic review. *Jurnal*

Ilmu Lingkungan, 22(2), 484–490. <https://doi.org/10.14710/jil.22.2.484-490>

Suyatma, N. E., Chasfila, S., & Giriwono, P. E. (2023). Estimasi risiko migrasi Bisphenol A (BPA) dari kemasan logam pangan olahan di Indonesia. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 11(2), 253–267. <https://doi.org/10.19028/jtep.011.2.253-267>

Suyatma, N. E., et al. (2023). BPA migration in food packaging and human exposure in Indonesia. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. <https://doi.org/10.19028/jtep.011.2.253-267>

Vitasari, A., Lestari, F., Muzahar, & Syaefullah. (2023). Distribusi kandungan logam berat Pb pada ekosistem perairan. *Jurnal Ekologi, Masyarakat dan Sains*, 4(1), 27–37. <https://doi.org/10.55448/ems.v4i1.73>