



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Pasta Udang dan Cemaran Logam Berat : Pasar Global, Risiko Kesehatan dan Regulasi Keamanan

Shrimp Paste and Heavy Metal Contamination: Global Market, Health Risks, and Food Safety Regulations

Setyaning Pawestri¹, Lingga Gita Dwikasari², Zuhdiyah Matienatul Iemaaniah³, Lalu Unsunnidhal⁴

¹ Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia, 83115, email : setyaning_pawestri@unram.ac.id

² Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia, 83115, email : linggadwikasari@unram.ac.id

³ Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, , Mataram, Indonesia, 83115, email : zuhdiyah2022@unram.ac.id

⁴ Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia, 83115, email : lalu.unsunnidhal@unram.ac.id

*Corresponding Author: E-mail: setyaning_pawestri@unram.ac.id

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 11 Mei, 2026

Revised: 23 June, 2026

Accepted: 17 July, 2026

Kata Kunci:

Pasta udang;

Logam berat;

Bioakumulasi;

Risiko kesehatan;

Keamanan pangan

Keywords:

Shrimp paste;

Heavy metal;

Bioaccumulation;

Health risk;

Food safety

ABSTRAK

Pasta udang merupakan produk fermentasi tradisional dari udang atau *krill* yang bernilai ekonomi tinggi di pasar global, dengan proyeksi mencapai USD 500 juta pada tahun 2025. Namun, di balik peluang pasar tersebut, terdapat tantangan serius terkait cemaran logam berat pada produk akhir diakibatkan bahan utama yang digunakan. Spesies udang seperti *Penaeus vannamei* dan *Penaeus monodon* diketahui mengakumulasi logam berat seperti kadmium (Cd), timbal (Pb), arsenik (As), dan merkuri (Hg), sehingga terasi dapat menjadi jalur paparan bagi manusia. Kajian literatur ini menggunakan basis data ilmiah (Sinta, ResearchGate, PubMed, Wiley, ScienceDirect) dengan kata kunci terpilih. Hasil kajian menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat dalam jaringan udang sering melebihi kadar lingkungan, dengan variasi distribusi menurut jenis logam dan jaringan. Paparan logam berat menimbulkan risiko kesehatan kronis seperti nefrotoksisitas, neurotoksisitas, dan karsinogenisitas. Regulasi internasional (Codex, EU, FDA, MHLW Jepang) serta regulasi nasional (BPOM, SNI) menetapkan ambang batas logam berat untuk menjamin keamanan pangan. Kajian ini pentingnya pengawasan, kontrol kualitas, dan penerapan regulasi ketat untuk mempertahankan daya saing produk pasta udang di perdagangan global.

ABSTRACT

Shrimp paste is a traditional fermented product made from shrimp or krill that holds high economic value in the global market, with projections reaching USD 500 million by 2025. However, behind this market opportunity lies a serious

DOI: 10.56338/jks.v9i7.11370

*challenge related to heavy metal contamination in the final product, caused by the raw materials used. Shrimp species such as *Penaeus vannamei* and *Penaeus monodon* are known to accumulate heavy metals including cadmium (Cd), lead (Pb), arsenic (As), and mercury (Hg), making shrimp paste a potential pathway of exposure for humans. This literature review employs scientific databases (Sinta, ResearchGate, PubMed, Wiley, ScienceDirect) with selected keywords. Findings indicate that heavy metal concentrations in shrimp tissues often exceed environmental levels, with distribution varying by type of metal and tissue. Heavy metal exposure poses chronic health risks such as nephrotoxicity, neurotoxicity, and carcinogenicity. International regulations (Codex, EU, FDA, MHLW Japan) and national regulations (BPOM, SNI) have established maximum limits for heavy metals to ensure food safety. This study highlights the importance of monitoring, quality control, and strict regulatory enforcement to maintain the competitiveness of shrimp paste products in global trade.*

PENDAHULUAN

Pasar pasta udang dalam kancah global bernilai besar, berdasarkan proyeksi nilainya mencapai USD 500 juta tahun 2025 dan diprediksi akan terus meningkat. Peningkatan nilai konsumsi pasta udang mencerminkan tren global dimana kelas menengah menginginkan pengalaman unik kuliner mancanegara dan kesadaran terhadap manfaat produk fermentasi bagi kesehatan (PRDUA Research & Media Private Limited, 2026). Meski, nilai ekonominya yang besar, tantangan cemaran logam berat dalam pasta udang merupakan masalah kritis di bidang keamanan pangan. Isu ini tidak hanya dikaitkan dengan kualitas produk, tetapi juga dengan isu bahaya kesehatan yang terdapat pada terasi sebagai ingredients kuliner untuk diet harian. Hal ini dikarenakan sifat bioakumulatif krustasea serta efek konsentrasi logam berat pada produk olahan akhir. Udang, terutama spesies seperti *Penaeus vannamei* dan *Penaeus monodon*, adalah organisme benthik yang aktif mengakumulasi senyawa toksik seperti kadmium (Cd), timbal (Pb), arsenik (As), dan merkuri (Hg) dari sedimen maupun air (Arisekar et al., 2022; Waqas et al., 2024). Ketika organisme tersebut digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pasta udang (teras), maka produk yang dihasilkan dapat menjadi vektor terkonsentrasi yang menjadi jalur utama paparan manusia terhadap unsur logam berat yang non-biodegradable. Paparan logam berat dapat menimbulkan risiko kesehatan kronis yang signifikan, seperti nefrotoksisitas, neurotoksisitas, dan karsinogenisitas (Sheydaei, 2024; Waqas et al., 2024). Studi terkini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat dalam jaringan udang sering kali melebihi kadar logam berat perairan maupun sedimen sekitarnya. Dimana fenomena ini diukur melalui faktor biokonsentrasi (BCF) yang bervariasi menurut jenis logam dan jaringan. Misalnya, Cd dan Pb cenderung terakumulasi di hepatopankreas dan eksoskeleton, sedangkan spesies arsenik lebih tersebar pada jaringan otot (Arisekar et al., 2022; Pragnya et al., 2021). Udang yang menjadi bahan baku pasta udang, maka kontaminan yang tersimpan dalam jaringan tubuhnya dapat berpindah ke produk akhir dan menjadi jalur paparan utama bagi manusia.

METODE

Dalam penyusunan kajian literatur ini, beberapa basis data ilmiah digunakan untuk memperoleh sumber yang relevan dan berkualitas. Basis data yang digunakan Sinta, ResearchGate, PubMed, Wiley Online Library, dan ScienceDirect, yang dipilih karena cakupan publikasi luas dengan kredibilitas yang terpercaya. Setiap basis data diidentifikasi, dianalisis, dan diseleksi untuk memastikan kesesuaian dengan topik kajian. Proses pencarian dilakukan

dengan menggunakan kata kunci yang telah ditentukan secara sistematis. Kata kunci utama adalah kombinasi antara *heavy metals*, *shrimp paste*, *seafood*, *health effect*, dan *global market*. Strategi ini bertujuan untuk memperoleh literatur yang membahas cemaran logam berat pada pasta udang. Artikel dengan kata kunci sesuai, tetapi tidak selaras dengan topik kajian akan dikeluarkan dari analisis. Pada tahap akhir, artikel yang memenuhi kriteria dianalisis dan disintesis, kemudian diintegrasikan ke dalam pembahasan mengenai cemaran logam berat pada terasi sebagai produk fermentasi tradisional yang memiliki relevansi tinggi terhadap keamanan pangan produk terasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Pasar Pasta Udang Global

Terasi adalah pasta udang fermentasi khas Indonesia yang terbuat dari udang, dengan atau tanpa tambahan ikan, yang diolah menjadi pasta semi-basah. Terasi bukan satu-satunya variasi pasta udang di Asia Tenggara, ada juga *belacan* di Malaysia dan Brunei, *kapi* di Thailand, *Mam ruoc* di Vietnam dan *bagong alamang* di Filipina (Hosein et al., 2025; Nuanphuen et al., 2023). Secara umum, jenis bahan baku, udang atau krill, rasio garam, proses fermentasi, dan waktu berbeda-beda tergantung pada wilayah atau negara (Nuanphuen et al., 2023). Pasta udang yang ditemukan di Asia Tenggara umumnya memiliki kadar garam yang lebih rendah, nilai kecerahan yang lebih tinggi, dan kadar protein yang lebih tinggi, terutama terdiri dari asam glutamat dibanding pasta udang yang beredar di wilayah Asia lainnya (Hosein et al., 2025).

Pasar global pasta udang mengalami pertumbuhan yang pesat, seiring meningkatnya minat konsumen terhadap kuliner Asia otentik serta popularitas makanan fermentasi di berbagai belahan dunia. Nilai pasar diperkirakan mencapai sekitar 500 juta dolar AS pada tahun 2025, dan tren positif diproyeksikan berlanjut hingga 2031, mencerminkan ekspansi yang signifikan. Pertumbuhan ini ditopang oleh beberapa faktor utama. Pertama, berkembangnya kelas menengah global, baik di kawasan Asia maupun Barat, mendorong permintaan terhadap pengalaman kuliner yang lebih beragam, termasuk hidangan tradisional berbasis pasta udang. Kedua, urbanisasi dan perubahan gaya hidup konsumen meningkatkan kebutuhan akan produk pangan yang praktis, siap pakai, dan unik. Hal ini mendorong inovasi dalam kemasan serta format produk, sehingga memperluas jangkauan pasar. Ketiga, akses terhadap pasta udang semakin luas melalui berbagai saluran distribusi, mulai dari platform daring hingga toko kelontong khusus, yang mempercepat penetrasi produk secara global (PRDUA Research & Media Private Limited, 2026). Besaran proyeksi nilai pasta udang di pasar global tersaji pada Gambar 1.

Pertumbuhan pasar pasta udang terutama digerakkan oleh ekspansi organik, diversifikasi produk, dan penetrasi pasar, bukan melalui konsolidasi skala besar. Asia Tenggara menjadi kawasan yang mendominasi produksi sekaligus konsumsi, dengan Vietnam, Thailand, dan Indonesia sebagai pemain utama. Dominasi ini didukung oleh ketersediaan sumber daya udang yang melimpah serta tradisi penggunaan pasta udang yang sudah mengakar dalam kuliner lokal. Sementara itu, China menempati posisi signifikan baik sebagai produsen maupun konsumen. Perusahaan domestik seperti Zhongjiaoyingchao dan Huiming telah memantapkan diri sebagai aktor utama di pasar dalam negeri, memperkuat peran China dalam rantai pasok

global (PRDUA Research & Media Private Limited, 2026).

Meningkatnya kesadaran masyarakat akan manfaat kesehatan dari pangan fermentasi seperti perbaikan kesehatan usus dan peningkatan bioavailabilitas nutrisi (Patra et al., 2016) juga menjadi faktor pendorong tambahan bagi tingginya konsumsi pasta udang. Dengan kombinasi faktor-faktor tersebut, pasar pasta udang diproyeksikan terus berkembang. Namun, di balik peluang tersebut, terdapat tantangan besar yang berkaitan dengan regulasi keamanan pangan. Regulasi ini, khususnya yang menyangkut kandungan logam berat dan kontaminasi mikroba, memiliki dampak signifikan terhadap industri (PRDUA Research & Media Private Limited, 2026).



Gambar 1. Proyeksi Nilai Pasar Pasta Udang (dalam juta dollar)
Sumber : (PRDUA Research & Media Private Limited, 2026)

Kepatuhan terhadap standar keamanan pangan menuntut investasi besar dalam sistem kontrol kualitas dan teknologi pengolahan, yang pada gilirannya memengaruhi biaya produksi serta dinamika pasar. Perusahaan harus menyeimbangkan antara efisiensi produksi, daya saing, dan kepatuhan terhadap regulasi yang semakin ketat. Fluktuasi harga bahan baku, terutama udang, juga menambah kompleksitas. Ketidakstabilan ini dapat menekan margin keuntungan, sehingga produsen dituntut untuk mengelola rantai pasok secara lebih adaptif dan juga memastikan bahwa bahan baku tidak berasal dari daerah tercemar logam berat (PRDUA Research & Media Private Limited, 2026). Produk fermentasi tradisional seperti terasi, memiliki kemungkinan menggunakan bagian tubuh udang dengan beban logam tinggi (kepala, cangkang, organ dalam), berpotensi menjadi vektor paparan logam berat bagi konsumen (Briffa et al., 2020; PRDUA Research & Media Private Limited, 2026).

Bahaya Logam Berat bagi Kesehatan

Logam berat merupakan komponen alami kerak bumi yang bersifat persisten karena stabil

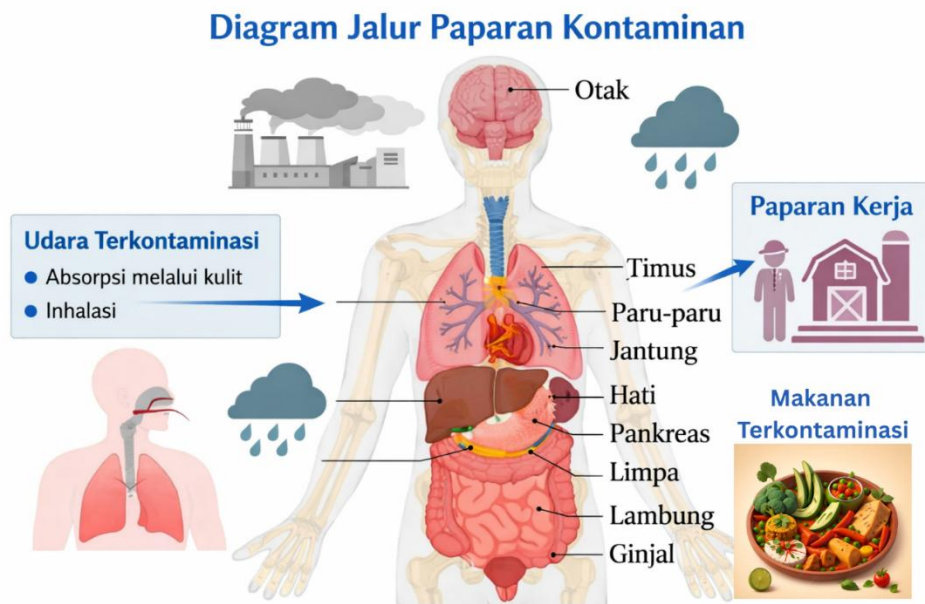
dan sulit terurai, sehingga dapat bertahan lama di lingkungan. Aktivitas manusia seperti pertanian, industri, dan pertambangan memperburuk kondisi ini dengan menghasilkan polutan yang meningkatkan kandungan logam berat di perairan. Akibatnya, biota laut berpotensi mengalami bioakumulasi yang kemudian masuk ke rantai makanan dan tubuh manusia, meskipun dalam jumlah kecil (Jafarzadeh et al., 2022; Nuanphuen et al., 2023)

Paparan logam berat terhadap manusia dapat terjadi melalui berbagai jalur, seperti menghirup partikel udara atau debu, mengonsumsi air terkontaminasi, maupun melalui pangan dari hasil pertanian maupun perikanan. Bioakumulasi logam berat menimbulkan efek toksik pada berbagai jaringan dan sistem organ, dengan tingkat keparahan bergantung pada jenis logam, dosis, jalur paparan, durasi (akut atau kronis), serta kemampuan logam tersebut untuk terakumulasi dalam tubuh. Efek toksisitas yang umum dilaporkan mencakup gangguan saraf (neurotoksisitas), hati (hepatotoksisitas), dan ginjal (nefrotoksisitas) (Jomova et al., 2024).

Logam berat yang bersifat toksik dan karsinogenik dapat berinteraksi dengan protein nuklir maupun DNA, sehingga memicu kerusakan oksidatif pada makromolekul biologis. Bukti mengenai hal ini terlihat dari terbentuknya berbagai produk nukleobasa spesifik akibat serangan oksigen pada DNA, baik pada hewan percobaan maupun kultur sel yang terpapar logam karsinogenik. Beberapa logam diketahui mampu menghasilkan radikal reaktif yang menimbulkan kerusakan DNA, peroksidasi lipid, serta penurunan kadar gugus sulfhidril pada protein, disertai efek toksik lainnya. Mekanisme ini telah diamati pada logam seperti tembaga, besi, kadmium, kromium, nikel, merkuri, dan vanadium. Spesies radikal reaktif yang terbentuk meliputi radikal berbasis oksigen, sulfur, maupun karbon, yang berasal dari superoksida, peroksida lipid, dan hidrogen peroksida. Radikal tersebut dapat berinteraksi dengan khelat asam amino, protein, dan peptida yang berkompleks dengan logam beracun. Dampak toksisitas logam berat mencakup berbagai efek samping serius, termasuk neurotoksisitas, hepatotoksisitas, dan nefrotoksisitas, yang menegaskan bahaya paparan logam berat terhadap kesehatan manusia (Briffa et al., 2020).

Merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan arsenik (As) merupakan kelompok zat beracun yang paling banyak diteliti dalam bidang kedokteran lingkungan dan toksikologi klinis. Unsur dan metaloid ini secara alami tersebar luas di kerak bumi melalui siklus ekologi, namun sebagian di antaranya telah dikategorikan sebagai salah satu kontaminan paling berbahaya. WHO (*World Health Organization*) bahkan menetapkan logam berat tersebut sebagai bahan kimia yang menjadi perhatian utama bagi kesehatan masyarakat, karena potensi toksisitas dan dampak jangka panjangnya terhadap manusia (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024; Chakif & Furrer, 2026).

Paparan kadmium diketahui menyebabkan kerusakan ginjal dan tulang, serta telah diidentifikasi sebagai karsinogen potensial yang dapat memicu kanker paru-paru pada manusia. Timbal berdampak pada perkembangan dan fungsi saraf, terutama pada janin, bayi, dan anak-anak, serta dapat meningkatkan tekanan darah pada orang dewasa. Sementara itu, merkuri bersifat toksik dalam bentuk unsur maupun anorganik, namun risiko terbesar berasal dari senyawa organiknya, terutama metilmerkuri yang terakumulasi dalam rantai makanan dan menjadi jalur utama paparan manusia (World Health Organisation, 2007). Diagram jalur paparan kontaminan logam berat tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Paparan Kontaminan Logam Berat
Sumber : (Chakif & Furrer, 2026)

Regulasi Keamanan Pangan Logam Berat

Aspek pematuan regulasi merupakan syarat wajib agar dapat menembus pasar global. Produk udang termasuk pasta udang harus memenuhi regulasi dan sertifikasi internasional yang diakui. Codex Alimentarius yang dikeluarkan WHO/FAO menjadi standar acuan global yang diakui WTO, mencakup batas maksimum residu obat hewan, logam berat, pestisida, serta pedoman pelabelan pangan. Di Uni Eropa, regulasi seperti Regulation (EU) 2017/625 dan Regulation (EC) No. 853/2004 mewajibkan adanya *National Residue Plan* serta penerapan batas ketat untuk logam berat, pestisida, dioksin, dan PCB, dengan pelabelan diatur melalui Regulation (EC) 1169/2011 dan penerapan sistem HACCP sebagai syarat dasar. Di Amerika Serikat, produk udang harus bebas dari antibiotik terlarang seperti kloramfenikol, nitrofurantoin, dan fluorokuinolon, serta mengikuti panduan FDA terkait batas logam berat, dengan kewajiban penerapan HACCP dan uji rutin. Jepang bahkan menerapkan batas residu yang lebih ketat dibanding Codex, melalui regulasi Kementerian Kesehatan, Tenaga Kerja, dan Kesejahteraan (MHLW), yang mencakup pemantauan intensif terhadap logam berat, antibiotik, dan pestisida. Selain regulasi pemerintah, standar privat seperti ASC, BAP, dan GAP semakin banyak dituntut oleh peritel global, dengan penekanan pada keberlanjutan, keterlacakan, dan jaminan produk bebas residu (Afidah, 2026).

Kandungan maksimal logam berat pada hasil perikanan dan produk olahan perikanan di Indonesia telah diatur secara resmi oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) serta Badan Standardisasi Nasional (BSN). BSN menetapkan regulasi melalui Standar Nasional Indonesia (SNI) yang secara khusus mengatur empat jenis logam berat utama, yaitu arsenik (As), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan timbal (Pb). Penetapan kadar maksimum ini bertujuan untuk memastikan keamanan pangan, melindungi konsumen dari risiko kesehatan akibat paparan logam berat, serta menjaga daya saing produk perikanan Indonesia di pasar

internasional. Nilai ambang batas yang ditetapkan dalam SNI menjadi acuan bagi industri perikanan dan pengolahan hasil laut. Data kadar maksimum logam berat tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Kadar logam berat yang diizinkan terkandung pada produk perikanan

Unsur	Produk	Batas Maksimum	Regulasi
Arsenik (As)	Ikan dan produk ikan (termasuk moluska, krustasea, Echinodermata, amfibia, dan reptil)	0,25 mg/kg	BPOM No. 5 Tahun 2018
	Ikan dan produk ikan (termasuk moluska, krustasea, Echinodermata, amfibia, dan reptil)	1,0 mg/kg	SNI 7387:2009
Kadmium (Cd)	Ikan dan produk ikan (kecuali ikan predator)	0,10 mg/kg	BPOM No. 5 Tahun 2018
	Ikan dan produk ikan	0,1 mg/kg	SNI 7387:2009
	Ikan predator (tuna, hiu susu, marlin, dll.)	0,5 mg/kg	SNI 7387:2009
	Ikan predator (tuna, hiu susu, marlin, dll.)	0,3 mg/kg	BPOM No. 5 Tahun 2018
	Moluska bivalvia dan teripang	1,0 mg/kg	SNI 7387:2009
	Moluska bivalvia laut	2,0 mg/kg	Codex Standard 193-1995
	Udang dan krustasea lainnya	1,0 mg/kg	SNI 7387:2009
Merkuri (Hg)	Ikan dan produk ikan (kecuali ikan predator)	0,50 mg/kg	BPOM No. 5 Tahun 2018
	Ikan dan produk ikan	0,5 mg/kg	SNI 7387:2009
	Ikan (sebagai metil-Hg)	0,5 mg/kg	Codex Standard 193-1995
	Ikan predator (tuna, hiu susu, marlin, dll.)	1,0 mg/kg	SNI 7387:2009; BPOM No. 5 Tahun 2018
	Ikan predator (sebagai metil-Hg)	2,0 mg/kg	Codex Standard 193-1995
	Moluska bivalvia dan teripang	1,0 mg/kg	SNI 7387:2009
	Udang dan krustasea lainnya	1,0 mg/kg	SNI 7387:2009
Timbal (Pb)	Ikan dan produk ikan (kecuali ikan predator)	0,2 mg/kg	BPOM No. 5 Tahun 2018
	Ikan dan produk ikan	0,3 mg/kg	SNI 7387:2009
	Ikan	0,3 mg/kg	Codex Standard 193-1995
	Ikan predator (tuna, hiu susu, marlin, dll.)	0,4 mg/kg	SNI 7387:2009; BPOM No. 5 Tahun 2018

Moluska bivalvia dan teripang	1,5 mg/kg	SNI 7387:2009
Udang dan krustasea lainnya	0,5 mg/kg	SNI 7387:2009
Terasi (shrimp paste)	1,0 mg/kg	SNI 7387:2009

Sumber : BSN (2009), BPOM (2018), FAO, WHO (1995) dalam (Yulyana et al., 2023)

KESIMPULAN

Isu keamanan pangan berupa cemaran logam berat pada pasta udang adalah ancaman serius bagi pasar global pasta udang. Kosumen tidak hanya terfokus pada dorongan untuk mencoba tren kuliner otentik Asia Tenggara dan manfaat produk pangan fermentasi. Konsumen sekarang semakin sadar terhadap bahaya paparan logam berat dari produk pangan. Logam berat menjadi perhatian utama dikarenakan bersifat bioakumulatif dan memiliki risiko kesehatan kronis. Jalur makanan menjadi salah satu jalur paparan dari Cd, Pb, As, dan Hg, dimana logam berat tersebut terindikasi dapat menyebabkan kerusakan ginjal, gangguan sistem saraf, hingga kanker. Dalam upaya untuk meminimalkan bahaya kesehatan tersebut, berbagai regulasi ketat dari badan internasional (WHO, FAO, Codex, EU, FDA, MHLW Japan) dan nasional (BPOM) telah menetapkan ambang batas logam berat dapat diterima. Regulasi tersebut selayaknya dipatuhi oleh produsen dan industri, sehingga produk yang diterima konsumen berkualitas dan aman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penyusun menyampaikan apresiasi terhadap bantuan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) dalam mempermudah proses penyusunan kajian literatur ini, terutama dalam pemberian *feedback* terkait alur pemikiran dan bantuan untuk mengumpulkan referensi yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- Afidah, F. (2026). *Safeguarding Indonesia's Shrimp Safety and Meeting Export Standards* | JALA Blog. <https://jala.tech/blog/shrimp-industry/safeguarding-indonesia-s-shrimp-safety-and-meeting-export-standards-1>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2024). *Substance Priority List* | ATSDR. <https://www.atsdr.cdc.gov/programs/substance-priority-list.html>
- Arisekar, U., Shakila, R. J., Shalini, R., Jeyasekaran, G., Padmavathy, P., Hari, M. S., & Sudhan, C. (2022). Accumulation potential of heavy metals at different growth stages of Pacific white leg shrimp, *Penaeus vannamei* farmed along the Southeast coast of Peninsular India: A report on ecotoxicology and human health risk assessment. *Environmental Research*, 212, 113105. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.113105>
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2020.E04691>
- Chakif, D., & Furrer, J. (2026). Heavy Metal Toxicity in Clinical and Environmental Health: Sources, Mechanisms, Diagnostics, and Evidence-Based Management of Mercury, Lead, Cadmium, and Arsenic. *International Journal of Molecular Sciences* 2026, Vol. 27, Page 3513, 27(8), 3513. <https://doi.org/10.3390/IJMS27083513>

- Hosein, C. N., Prayoga, J. A., Mariana, L. A., Morwarin, O. K., & Lo, D. (2025). Terasi as a Shrimp Paste in Southeast Asia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1488(1), 012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1488/1/012109>
- Jafarzadeh, N., Heidari, K., Meshkinian, A., Kamani, H., Mohammadi, A. A., & Conti, G. O. (2022). Non-carcinogenic risk assessment of exposure to heavy metals in underground water resources in Saraven, Iran: Spatial distribution, monte-carlo simulation, sensitive analysis. *Environmental Research*, 204(August 2021), 112002. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112002>
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2024). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Archives of Toxicology*, 99(1), 153. <https://doi.org/10.1007/S00204-024-03903-2>
- Nuanphuen, P., Homkham, N., Areekul, V., Ivanovitch, K., & Norkaew, S. (2023). Heavy metals contaminant of shrimp paste products and risk assessment in Thailand. *Regional Studies in Marine Science*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103195>
- Patra, J. K., Das, G., Paramithiotis, S., & Shin, H. S. (2016). Kimchi and other widely consumed traditional fermented foods of Korea: A review. *Frontiers in Microbiology*, 7(SEP). <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.01493>
- Pragnya, M., Ajay, B., Kumar, S. D., & Byragi Reddy, T. (2021). Bioaccumulation of heavy metals in different trophic levels of aquatic ecosystems with fish as a bioindicator in Visakhapatnam, India. *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112162. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.112162>
- PRDUA Research & Media Private Limited. (2026). *I new message*. <https://www.datainsightsmarket.com/reports/shrimp-paste-1233597>
- Sheydaei, M. (2024). Investigation of Heavy Metals Pollution and Their Removal Methods: A Review. *Geomicrobiology Journal*, 41(3), 213–230. <https://doi.org/10.1080/01490451.2024.2318227>
- Waqas, W., Yuan, Y., Ali, S., Zhang, M., Shafiq, M., Ali, W., Chen, Y., Xiang, Z., Chen, R., Ikhwanuddin, M., & Ma, H. (2024). Toxic effects of heavy metals on crustaceans and associated health risks in humans: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(3), 1391–1411. <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01717-3>
- World Health Organisation. (2007). Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. *Joint WHO I Convention Task Force on Health Aspects of Air Pollution*, 2–144. www.euro.who.int
- Yulyana, A., Hastuti, A. A. M. B., Rohman, A., Setiawan, B., Khasanah, F., & Irnawati. (2023). Heavy metal levels in fish products in Indonesia: a survey. *Food Research*, 7(2), 74–84. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(2\).727](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(2).727)