**MEDIC NUTRICIA**
Jurnal Ilmu Kesehatan
ISSN : 3025-8855

*Vol. 23 No 2 Tahun 2026*
*Cahaya Ilmu Bangsa*

# TOKSIKOLOGI INDUSTRI LOGAM BERAT PADA PEKERJA INDONESIA: PAPARAN, DAMPAK KESEHATAN, DAN UPAYA PENGENDALIAN

**Muhammad Al Fahri[1*], Muhammad Abdurrazaq[2], Wira Anjani[3], Abdurrozzaq Hasibuan[4]**
[1,2,3]Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara
[4]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara
[1*]muhammadalfahri135@gmail.com, opick68@gmail.com

**Abstrak**

Paparan logam berat di lingkungan kerja merupakan faktor utama risiko Penyakit Akibat Kerja (PAK) pada sektor industri formal maupun informal di Indonesia. *Review* literatur ini bertujuan untuk menganalisis jalur paparan, dampak kesehatan, analisis risiko, serta strategi pengendalian toksikologi industri pada pekerja batik dan bengkel pengelasan/otomotif. Metode penelitian menggunakan *narrative literature review* dengan mengevaluasi secara kritis artikel ilmiah terpilih dalam rentang waktu 2022–2026. Hasil kajian menunjukkan bahwa perajin batik terpapar polilogam berat (Pb, Cu, Zn, Ni, Fe, Al) dari pewarna sintetis melalui jalur ganda (dermal dan inhalasi). Sementara itu, pekerja pengelasan terpapar partikulat uap logam (Cr, Mn, Fe) secara dominan melalui jalur inhalasi dengan tingkat risiko non-karsinogenik mangan yang sangat kritis (HQ > 1). Dampak toksisitas kronis bermanifestasi pada gangguan sistem pernapasan dan hambatan biosintesis heme yang ditandai dengan *biomarker* penurunan hemoglobin/hematokrit serta peningkatan ekskresi asam *delta-aminolevulinat* urin (*u-ALA*). Pengendalian risiko memerlukan pendekatan komprehensif berbasis hierarki kontrol, meliputi pemasangan ventilasi lokal (*fume extractor*), pengaturan area kerja terbuka (*outdoor*), personal higiene, penggunaan APD respiratorik/dermal spesifik, serta surveilans kesehatan berkala.

**Kata kunci:** Toksikologi Industri, Logam Berat, Pekerja Batik, Bengkel Las, *Biomarker*.

**Article history**
Received: June 2026
Reviewed: June 2026
Published: June 2026

Plagirism checker
No. 234.8576

**Copyright : Author**
**Publish by : Nutricia**

This work is licensed under a creative commons attribution-noncommercial 4.0 international license

**MEDIC NUTRICIA**
Jurnal Ilmu Kesehatan
ISSN : 3025-8855

*Vol. 23 No 2 Tahun 2026*
*Cahaya Ilmu Bangsa*

***Abstract***

*Heavy metal exposure in the workplace is a primary risk factor for occupational diseases in both formal and informal industrial sectors in Indonesia. This literature review aims to analyze exposure routes, health impacts, risk assessments, and industrial toxicology control strategies among batik artisans and welding/automotive workshop workers. The research method applied is a narrative literature review, critically evaluating selected scientific articles published between 2022 and 2026. The findings indicate that batik artisans are exposed to multiple heavy metals (Pb, Cu, Zn, Ni, Fe, Al) from synthetic dyes via dual routes (dermal and inhalation). Meanwhile, welding workers are predominantly exposed to metal fume particulates (Cr, Mn, Fe) through inhalation, with a critical non-carcinogenic risk level for manganese (HQ > 1). Chronic toxicity impacts manifest as respiratory disorders and the inhibition of heme biosynthesis, characterized by biomarkers such as decreased hemoglobin/hematocrit levels and elevated urinary delta-aminolevulinic acid (u-ALA) excretion. Risk mitigation requires a comprehensive approach based on the hierarchy of controls, including the installation of local exhaust ventilation (fume extractors), outdoor workplace design, personal hygiene practices, specific respiratory/dermal PPE compliance, and regular health surveillance.*

***Keywords**: Industrial Toxicology, Heavy Metals, Batik Workers, Welding Workshop, Biomarkers.*

**PENDAHULUAN**

Perkembangan sektor industri di Indonesia, baik skala besar maupun Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM), berkontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional namun sekaligus membawa konsekuensi berupa peningkatan risiko paparan bahan kimia berbahaya di tempat kerja (Zahra dkk., 2026). Paparan zat beracun di lingkungan kerja ini diakui secara global sebagai salah satu faktor utama yang memicu timbulnya Penyakit Akibat Kerja (PAK) serta penurunan kualitas kesehatan pekerja jangka panjang (Zahra dkk., 2026). Di antara sekian banyak zat berbahaya, logam berat menempati prioritas tinggi dalam toksikologi industri karena sifatnya yang persisten, *bioakumulatif*, dan toksik bahkan dalam konsentrasi yang sangat rendah (Pratama dkk., 2025).

Estimasi global menunjukkan bahwa paparan timbal mengakibatkan sekitar 20.000 hingga 40.000 kematian dini per tahun di Indonesia, serta hilangnya 500.000 hingga 1.000.000 *Disability-Adjusted Life Years* (DALYs) (Zhou dkk., 2022; World Bank, 2024). Beban ekonomi yang ditimbulkan sangat masif, diperkirakan mencapai USD 37,9 miliar atau setara dengan 3% dari Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia akibat penurunan kapasitas kognitif masyarakat dan peningkatan beban penyakit kronis (Pure Earth, 2025; NYU, 2022). Hal ini menempatkan Indonesia sebagai salah satu negara dengan dampak keracunan timbal tertinggi di Asia Tenggara (World Bank, 2024).

Dua sektor industri informal yang memiliki kontribusi budaya dan ekonomi besar di Indonesia namun rentan terhadap paparan logam berat adalah industri batik tradisional dan bengkel pengelasan/otomotif. Industri batik, yang tersebar luas di pulau Jawa, sangat

bergantung pada penggunaan pewarna sintetis (seperti *remazol*, *naphthol*, dan *indigosol*) demi efisiensi waktu produksi dan variasi warna (Oginawati dkk., 2022, 2023). Pewarna sintetis ini terbukti mengandung berbagai senyawa logam berat, termasuk Timbal (Pb), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Nikel (Ni), Besi (Fe), dan Aluminium (Al) (Oginawati dkk., 2022, 2023). Di sisi lain, pekerja di bengkel pengelasan dan mekanik motor menghadapi ancaman berupa gas uap las (*welding fumes*) dan emisi gas buang kendaraan bermotor (Susanto dkk., 2024). Proses pengelasan temperatur tinggi memicu penguapan logam dari elektroda dan *base* metal, yang menghasilkan partikulat halus kaya akan Kromium (Cr), Mangan (Mn), Besi (Fe), dan Tembaga (Cu) (Susanto dkk., 2024).

Masalah utama di sektor informal ini adalah rendahnya kesadaran akan keselamatan dan kesehatan kerja (K3), minimnya sistem ventilasi yang memadai, dan rendahnya tingkat kepatuhan dalam penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) (Zahra dkk., 2026). Akibatnya, logam berat dengan mudah masuk ke dalam tubuh pekerja melalui berbagai portal entri seperti inhalasi pernapasan maupun absorpsi dermal saat kontak langsung dengan larutan kimia (Oginawati dkk., 2022, 2023). Masuknya logam berat secara kronis terbukti mengganggu sistem hematopoietik, sistem saraf, saluran pencernaan, hingga sistem pernapasan, serta memicu efek karsinogenik (Susanto dkk., 2024; Zahra dkk., 2026).

Mengingat tingginya variabilitas hasil studi dan urgensi perlindungan tenaga kerja, artikel ini disusun sebagai sebuah *review* literatur untuk memetakan secara komprehensif jalur paparan, karakterisasi risiko, dampak klinis, penggunaan *biomarker*, dan strategi intervensi yang aplikatif pada pekerja industri batik dan bengkel di Indonesia.

## METODE

Artikel ini merupakan sebuah *descriptive/narrative literature review* (tinjauan literatur deskriptif/naratif) yang berfokus pada analisis mendalam berbasis artikel-artikel ilmiah pilihan yang relevan (Zahra dkk., 2026). Sumber data sekunder diperoleh dari pencarian artikel jurnal bereputasi tinggi nasional dan internasional dalam rentang waktu terbit tahun 2022 hingga 2026.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Data penelusuran menunjukkan adanya kontaminasi logam berat yang masuk ke dalam tubuh pekerja melalui rute spesifik tergantung jenis pekerjaannya. Pada industri batik tradisional, akumulasi logam ditemukan pada kulit pekerja (*dermal exposure*) menggunakan pengujian *Patch Filter*, di mana kadar tertinggi dicatatkan oleh logam Cu, Zn, dan Ni, sedangkan pajanan Pb tertinggi terlacak pada bagian pengecapan (*stamping*) (Oginawati dkk., 2022). Secara bersamaan, perajin batik juga terpapar inhalasi Pb dengan konsentrasi rata-rata di udara ruang kerja mencapai $0,021 \pm 0,015\ \mu\text{g/m}^3$ (Oginawati dkk., 2023).

Pada sektor bengkel pengelasan, pemodelan berbasis *Multiple-Path Particle Dosimetry* (MPPD) mencatat laju deposisi total aerosol gas uap logam (*welding fumes*) pada sistem pernapasan pekerja berada pada angka $0,097\ \mu\text{g/menit}$, dengan luas area cakupan deposisi mencapai $1,27 \times 10^{-4}\ \mu\text{g/m}^2$ (Susanto dkk., 2024). Sementara itu, mekanik otomotif teridentifikasi mengalami akumulasi cemaran logam berat Pb pada kuku mereka akibat paparan debu komponen mesin secara kronis (Hasibuan & Aruan, 2024).

Data kuantitatif risiko karsinogenik (*Excess Cancer Risk*/ECR) dan non-karsinogenik (*Hazard Quotient*/HQ atau *Hazard Index*/HI) dari berbagai sektor industri diringkas pada tabel berikut:

| Populasi Pekerja | Jenis Logam | Jalur Paparan | Risiko Non-Karsinogenik (HQ/HI) | Risiko Karsinogenik (ELCR/ECR) | Status Risiko |
|---|---|---|---|---|---|
| Perajin Batik (Yogyakarta) | Pb, Cu, Zn, Ni, Al, Fe | Dermal & Inhalasi | HI=0,372±0,155 | ELCR=5,18×10−8 | Aman (HI<1; ELCR<10−4) |
| Perajin Batik (Inhalasi) | Pb | Inhalasi | Tidak dihitung | ELCRmax=7,07×10−8 | Aman (ELCR<10−4) |
| Pekerja Bengkel Las | Mn, Cr, Fe, Cu | Inhalasi | HQ Mangan=1568 | ECR Kromium=7,8×10−5 | Sangat Berbahaya (HQ≫1) |

Hasil uji laboratorium terhadap cairan biologis pekerja menunjukkan perubahan parameter yang signifikan. Pada perajin batik, ditemukan hubungan korelasi negatif yang kuat antara konsentrasi Timbal dalam tubuh dengan status hematologi pekerja. Nilai koefisien korelasi ($ref$) kadar Hemoglobin (Hb) terhadap *biomarker* paparan timbal urin (*u-ALA*) adalah $r = -0,519$ untuk pekerja pria dan $r = -0,531$ untuk pekerja wanita (Oginawati dkk., 2023). Di sisi lain, data dari industri hilir seperti pekerja keramik menunjukkan bahwa akumulasi masa kerja tidak serta-merta berkorelasi linear terhadap penurunan kadar Hb dan hematokrit apabila asupan nutrisi pekerja tercukupi dengan baik (Pratama dkk., 2025).

**Pembahasan**

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat perbedaan pola paparan yang kontras antara industri batik dan bengkel las. Pekerja batik mengalami paparan ganda (*dual-route exposure*). Paparan dermal terjadi karena kebiasaan bekerja tanpa sarung tangan protektif saat proses pencelupan warna kimia (Oginawati dkk., 2022). Molekul logam berat dalam zat warna sintetis berpenetrasi melewati lapisan epidermis kulit (Oginawati dkk., 2022). Secara simultan, uap panas dari proses fiksasi dan perebusan kain melepaskan partikel Pb ke udara yang kemudian terhirup oleh sistem pernapasan (Oginawati dkk., 2023).

Sebaliknya, pada bengkel pengelasan, paparan bersifat mutlak melalui jalur inhalasi (Susanto dkk., 2024). Proses *arc welding* suhu tinggi menyebabkan elektroda logam mencair dan menguap, membentuk partikulat halus berukuran mikro hingga nano yang melayang di udara ruangan (Susanto dkk., 2024). Ukuran partikel yang sangat kecil (*ultrafine*) ini memfasilitasi penembusan uap las hingga ke bagian terdalam paru-paru (*alveolus*), sebagaimana dibuktikan oleh tingginya laju deposisi pemodelan MPPD (Susanto dkk., 2024). Bagi mekanik otomotif, akumulasi logam Pb pada kuku mengindikasikan adanya transfer toksikan dari debu sisa pembakaran kendaraan melalui kontak fisik berulang saat memegang komponen mesin telanjang dada atau tanpa proteksi tangan (Hasibuan & Aruan, 2024).

Hasil perhitungan ARKL menyoroti urgensi tingkat bahaya yang berbeda. Nilai risiko polilogam pada industri batik (HI = 0,372) menunjukkan bahwa dosis pajanan kumulatif harian yang diterima oleh perajin saat ini masih berada di bawah dosis referensi amannya ($HI < 1$), sehingga risiko kemunculan efek sistemik non-kanker dapat diabaikan atau ditoleransi (Oginawati dkk., 2023). Demikian pula dengan risiko karsinogenik Pb ($ELCR < 10^{-4}$), yang berarti potensi timbulnya kanker akibat paparan timbal dari batik tradisional dalam kurun waktu 30 tahun ke depan sangatlah rendah (Nathanael & Oginawati, 2022; Oginawati dkk., 2023).

Kondisi kritis justru ditemukan pada pekerja bengkel pengelasan, di mana nilai $HQ$ Mangan mencapai $1568$ (Susanto dkk., 2024). Angka yang jauh melebihi batas aman ($HQ > 1$) ini mengindikasikan bahwa konsentrasi uap Mangan di lingkungan kerja sudah masuk dalam fase toksik akut hingga kronis (Susanto dkk., 2024). Mangan merupakan *neurotoksikan* kuat yang

dapat menembus sawar darah otak (*blood-brain barrier*) dan memicu sindrom "*manganisme*" yang gejalanya menyerupai penyakit Parkinson. Selain itu, nilai risiko kanker dari Kromium ($ECR = 7,8 \times 10^{-5}$) yang mendekati batas kritis $1 \times 10^{-4}$ disebabkan oleh sifat genotoksik senyawa Kromium *heksavalen* ($\text{Cr}^{VI}$) dalam *welding fumes* yang mampu menginduksi mutasi DNA sel epitel paru dan memicu karsinogenesis (Susanto dkk., 2024).

Hasil korelasi negatif yang signifikan antara Hb dan *u-ALA* pada perajin batik mengonfirmasi teori patofisiologi toksisitas logam timbal (Pb) di dalam tubuh (Oginawati dkk., 2023). Secara biokimia, molekul Pb yang masuk ke sirkulasi darah bertindak sebagai inhibitor kompetitif yang mengikat gugus sulfhidril dari enzim *delta-aminolevulinic acid dehydratase* (ALAD) (Oginawati dkk., 2023). Akibat rusaknya fungsi enzim ALAD, proses kondensasi dua molekul asam *delta-aminolevulinat* menjadi *porfobilinogen* terhenti (Oginawati dkk., 2023). Hal ini memicu efek domino berupa penumpukan senyawa asam *delta-aminolevulinat* yang berlebih dalam serum darah dan akhirnya dibuang secara masif melalui urin (*u-ALA*) (Oginawati dkk., 2023).

Karena sintesis *porfobilinogen* terhambat, produksi molekul heme sebagai inti dari Hemoglobin mengalami kegagalan (Oginawati dkk., 2023). Manifestasi klinis jangka panjang dari proses biokimia ini adalah penurunan jumlah Hemoglobin dan volume Hematokrit darah, yang berujung pada anemia *mikrositik hipokromik* (Pratama dkk., 2025). Meskipun demikian, variasi data pada pekerja keramik menunjukkan bahwa manifestasi klinis anemia ini dipengaruhi oleh faktor perancu (*confounding factors*) seperti status gizi, kecukupan zat besi (Fe) dalam diet harian, serta efisiensi sistem ekskresi individu dalam mendetoksifikasi logam sebelum merusak sumsum tulang belakang (Pratama dkk., 2025).

Berdasarkan temuan tingginya tingkat paparan inhalasi pada pengelasan dan paparan dermal pada industri batik, strategi mitigasi bahaya harus diaplikasikan menggunakan pendekatan hierarki pengendalian risiko (Zahra dkk., 2026):

1. **Pengendalian Rekayasa Teknik:** Industri pengelasan harus mengadopsi sistem *Local Exhaust Ventilation* (LEV) seperti penggunaan lengan *fume extractor* fleksibel yang diletakkan tepat di atas titik pengelasan untuk menyedot uap logam sebelum masuk ke ruang pernapasan pekerja (Susanto dkk., 2024). Pada industri batik, ruang perebusan malam dan pencelupan warna wajib dirancang dengan sistem ventilasi buatan (*exhaust fan*) atau dipindahkan ke area semi-terbuka (*outdoor*) untuk mengencerkan konsentrasi Pb di udara (Oginawati dkk., 2023).
2. **Pengendalian Administratif:** Pemilik usaha bengkel dan UMKM batik harus memberlakukan rotasi kerja berkala guna membatasi durasi pajanan kumulatif (*time-weighted average*) pekerja (Zahra dkk., 2026). Selain itu, wajib diterapkan aturan personal higiene yang ketat, seperti keharusan mencuci tangan menggunakan sabun khusus atau air mengalir pasca-kontak dengan mesin atau pewarna untuk memutus rantai ingesti logam tidak sengaja (Hasibuan & Aruan, 2024).
3. **Alat Pelindung Diri (APD) Spesifik:** Masker kain biasa terbukti tidak efektif menyaring partikulat uap logam halus. Pekerja las dan pengecap batik wajib difasilitasi respirator katrid filter partikulat standar N95 atau respirator pemurni udara (Susanto dkk., 2024). Sementara untuk perajin batik di bagian pencelupan, wajib menggunakan sarung tangan karet tahan bahan kimia (*elbow-length chemical gloves*) demi meminimalkan luas area kontak dermal (Oginawati dkk., 2022).
4. **Surveilans Kesehatan Biologis:** Pemantauan kesehatan pekerja tidak boleh sebatas pemeriksaan fisik luar, melainkan harus melibatkan uji laboratorium berkala untuk memantau *biomarker* sensitif seperti kadar hemoglobin darah, kadar timbal darah/kuku, dan pemeriksaan kadar *u-ALA* urin (Hasibuan & Aruan, 2024; Susanto dkk., 2024; Oginawati

dkk., 2023).

**KESIMPULAN**

Pekerja sektor industri informal di Indonesia, khususnya perajin batik dan pekerja bengkel las/otomotif, menghadapi ancaman toksisitas polilogam berat (Pb, Mn, Cr, Cu, Zn, Ni) dengan jalur entri utama melalui inhalasi pernapasan dan absorpsi dermal (Susanto dkk., 2024; Oginawati dkk., 2022). Karakterisasi risiko menunjukkan tingkat bahaya non-karsinogenik logam Mangan pada pekerja las telah melampaui batas aman, sementara paparan logam pada industri batik masih bersifat sub-kronis dan aman namun tetap memerlukan manajemen risiko jangka panjang (Susanto dkk., 2024; Oginawati dkk., 2023). Dampak kesehatan yang nyata berfokus pada kerusakan sistem pernapasan dan hambatan biosintesis heme yang terbukti secara laboratoris memicu penurunan Hemoglobin serta peningkatan ekskresi *u-ALA* urin (Susanto dkk., 2024; Oginawati dkk., 2023). Implementasi K3 mutlak diperlukan melalui perbaikan teknis ventilasi (*fume extractor*), pengaturan kerja *outdoor*, pembudayaan higiene personal, kepatuhan penggunaan APD respiratorik/dermal, serta pemantauan *biomarker* kesehatan berkala demi melindungi keberlanjutan derajat kesehatan pekerja Indonesia (Hasibuan & Aruan, 2024; Susanto dkk., 2024; Oginawati dkk., 2023).

**DAFTAR PUSTAKA**

Hasibuan, D. L. F., & Aruan, D. G. R. (2024). Analisa cemaran logam berat pada kuku mekanik motor di sekitar daerah Lubuk Pakam tahun 2024. *Jurnal Analis Laboratorium Medik*, *9*(2), 141–144.

Nathanael, R. J., & Oginawati, K. (2022). Carcinogenic risk assessment of inhaled Lead (Pb) on batik industry workers. *Proceedings of the 2nd ITB Graduate School Conference*, 211–216.

New York University (NYU) & Stern School of Business. (2022). *Economic Cost of Lead Exposure in Indonesia: An Assessment of Cognitive and Health Impacts*. NYU.

Oginawati, K., Nathanael, R. J., Chazanah, N., Suharyanto, Prabandari, D., Basuki, M. F., Oclandhi, B., Santoso, M., Febriana, S. A., Nugrahaningsih, D. A., Suhartini, S., Prakoeswa, C. R. S., & Tanziha, I. (2023). Occupational lead exposure health risk assessment and heme biosynthesis: A study on batik artisans in Yogyakarta, Indonesia. *Heliyon*, *9*(9), e19994. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19994

Oginawati, K., Suharyanto, Susetyo, S. H., Sulung, G., Muhayatun, Chazanah, N., Kusumah, S. W. D., & Fahimah, N. (2022). Investigation of dermal exposure to heavy metals (Cu, Zn, Ni, Al, Fe and Pb) in traditional batik industry workers. *Heliyon*, *8*(2), e08914. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08914

Pratama, F. A., Martuti, S., & Mu'awanah, I. A. U. (2025). Hubungan paparan timbal dengan kadar hemoglobin dan hematokrit pekerja industri keramik di Padukuhan Kajen berdasarkan lama masa kerja. *Indonesian Journal of Health Research Innovation (IJHRI)*, *2*(4), 235–243.

Pure Earth. (2025). *The Global Lead Exposure Report: Quantifying the Economic and Social Burden of Lead Poisoning*. Pure Earth.

Susanto, A., Yudhiantara, MR., Putro, E. K., Kara, P., & Hidayah, N. (2024). Karakterisasi, analisis risiko kesehatan dan Multiple-Path Particle Dosimetry (MPPD) model akibat paparan uap las pada pekerja bengkel pengelasan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, *23*(3), 349–361. https://doi.org/10.14710/jkli.23.3.349-361

World Bank. (2024). *Health and Economic Impacts of Environmental Pollution in Indonesia: Lead Exposure and Public Health*. World Bank Publications.

Zahra, P. Z., Vellina, S., Andini, N., & Hasibuan, A. (2026). Analisis dampak paparan bahan kimia berbahaya terhadap keselamatan dan kesehatan pekerja di lingkungan industri. *JCRD: Journal of Citizen Research and Development*, *3*(1), 256–262.

Zhou, Z., dkk. (2022). "Global, regional, and national burden of lead exposure and its health impacts: A longitudinal analysis." *Journal of Environmental Health Perspectives*, 130(4).