

Metode Analitik untuk Biomonitoring Logam Berat pada Sampel Biologis Manusia: Tinjauan Literatur

Yuri Pradika

Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan KESOSI, Indonesia

*Penulis Korespondensi: yuripradika@gmail.com

Abstract. Heavy metal exposure in humans remains an important issue in environmental health, occupational health, and human toxicology. Biomonitoring using biological samples is needed to describe internal exposure to heavy metals that enter and are distributed in the human body. This literature review aims to discuss analytical methods used in heavy metal biomonitoring in human biological samples, the types of samples used, the metals analyzed, and the research gaps identified in previous studies. This study used a literature review method with a descriptive qualitative approach. The reviewed literature consisted of national and international journals published from 2020 to 2026 that discussed heavy metal analysis in human biological samples. The results showed that blood, urine, hair, nails, and serum are commonly used biological samples in biomonitoring. International studies more frequently use highly sensitive multi-element methods, such as ICP-MS, ICP-MS KED, ICP-DRC-MS, and ICP-OES. Meanwhile, national studies are still dominated by the use of SSA/AAS for single-element analysis, especially Pb. Studies on Cd and Hg have begun to develop, but research on As, Cr, Ni, Mn, and multi-metal exposure remains limited. Method validation, standardized sample preparation, and the expansion of multi-metal analysis are important aspects that need to be strengthened in the development of heavy metal biomonitoring in humans.

Keywords: biomonitoring, heavy metals, biological samples, analytical methods

Abstrak. Paparan logam berat pada manusia masih menjadi masalah penting dalam bidang kesehatan lingkungan, kesehatan kerja, dan toksikologi. Biomonitoring melalui sampel biologis diperlukan untuk menggambarkan paparan internal logam berat yang masuk dan terdistribusi dalam tubuh. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk membahas metode analitik yang digunakan dalam biomonitoring logam berat pada sampel biologis manusia, jenis sampel yang digunakan, jenis logam yang dianalisis, serta kesenjangan penelitian yang masih ditemukan. Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Literatur yang dikaji berasal dari jurnal nasional dan internasional tahun 2020–2026 yang membahas analisis logam berat pada sampel biologis manusia. Hasil kajian menunjukkan bahwa darah, urin, rambut, kuku, dan serum merupakan sampel biologis yang banyak digunakan dalam biomonitoring. Penelitian internasional lebih banyak menggunakan metode multi-elemen dengan sensitivitas tinggi seperti ICP-MS, ICP-MS KED, ICP-DRC-MS, dan ICP-OES. Sementara itu, penelitian nasional masih didominasi oleh penggunaan SSA/AAS untuk analisis logam tunggal, terutama Pb. Kajian terhadap Cd dan Hg sudah mulai berkembang, tetapi penelitian mengenai As, Cr, Ni, Mn, serta paparan multi-logam masih terbatas. Validasi metode, standar preparasi sampel, dan perluasan analisis multi-logam menjadi aspek penting yang perlu diperkuat dalam pengembangan biomonitoring logam berat pada manusia.

Kata Kunci: biomonitoring, logam berat, sampel biologis, metode analitik

1. PENDAHULUAN

Paparan logam berat masih menjadi masalah penting dalam bidang kesehatan lingkungan, kesehatan kerja, dan toksikologi manusia. Logam berat seperti timbal (Pb), merkuri (Hg), kadmium (Cd), kromium (Cr), dan arsenik (As) banyak dikaji karena dapat menimbulkan efek toksik pada manusia. Paparan logam berat dapat terjadi melalui udara, air, makanan, serta lingkungan yang tercemar (Balali-Mood *et al.*, 2021). Beberapa penelitian pada kelompok berisiko menunjukkan bahwa logam berat dapat terdeteksi melalui sampel biologis seperti darah, urin, rambut, dan kuku (Wulandari *et al.*, 2021; Susiani & Lestari,

2022; Pujiastuti & Restuaji, 2024; Aruan & Manurung, 2021; Musafira & Rasul, 2022). Paparan tersebut perlu dipantau karena beberapa logam dapat terakumulasi dalam tubuh dan berkaitan dengan gangguan hematologi, ginjal, saraf, pernapasan, serta fungsi organ lain (Jomova *et al.*, 2025).

Biomonitoring menjadi pendekatan penting untuk menilai paparan logam berat pada manusia. Berbeda dari pengukuran lingkungan, biomonitoring dapat menunjukkan logam yang masuk dan terdistribusi dalam tubuh melalui pemeriksaan sampel biologis. Sampel yang sering digunakan antara lain darah, urin, rambut, kuku, dan serum. Setiap sampel memiliki makna interpretasi yang berbeda. Darah dan urin lebih sering digunakan untuk menggambarkan paparan aktif atau proses ekskresi logam, sedangkan rambut dan kuku lebih sesuai untuk melihat paparan jangka panjang atau paparan kronis (Martinez-Morata *et al.*, 2023; Hamouda *et al.*, 2023).

Pemilihan metode analitik menjadi faktor utama dalam keberhasilan biomonitoring logam berat karena setiap metode memiliki karakteristik yang berbeda. Metode seperti Spektrofotometri Serapan Atom atau *Atomic Absorption Spectrophotometry* (SSA/AAS), *Flame Atomic Absorption Spectrophotometry* (FAAS), *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry* (GF-AAS), *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS), dan *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES) memiliki perbedaan dari segi sensitivitas, kemampuan analisis multi-elemen, biaya, kecepatan analisis, serta kebutuhan validasi metode. Planeta *et al.* (2021) menunjukkan bahwa FAAS, GF-AAS, ICP-OES, dan ICP-MS memiliki kemampuan yang berbeda dalam analisis unsur pada sampel biomedis. ICP-MS lebih unggul untuk analisis multi-elemen dengan kadar rendah, sedangkan AAS masih banyak digunakan untuk analisis unsur tertentu karena lebih sederhana dan lebih mudah diterapkan di banyak laboratorium.

Penelitian internasional menunjukkan kecenderungan penggunaan metode multi-elemen dengan sensitivitas tinggi, terutama ICP-MS. Penelitian Ghobakhloo *et al.* (2025), Topal *et al.* (2026), Li *et al.* (2026), Camacho-delaCruz *et al.* (2025), dan Sharma *et al.* (2025) menunjukkan bahwa ICP-MS banyak digunakan untuk analisis multi-elemen pada darah, urin, dan serum. Metode tersebut memiliki keunggulan karena mampu mendeteksi unsur dalam kadar rendah serta menganalisis banyak logam dalam satu kali pemeriksaan. Sebaliknya, penelitian nasional lebih banyak menggunakan SSA/AAS. Metode ini banyak dipakai karena lebih tersedia di laboratorium dan cukup sesuai untuk analisis logam tunggal, terutama Pb. Restuaji dan Qibthiyyah (2023) menggunakan SSA/AAS untuk menentukan kadar Pb dalam darah. Pujiastuti dan Restuaji (2024) menggunakan metode yang sama untuk menentukan

kadar Pb dalam urin. Aruan dan Manurung (2021) menggunakan SSA/AAS untuk menganalisis Pb pada kuku. Wulandari *et al.* (2021) juga menggunakan AAS/SSA untuk menilai kadar Pb pada rambut. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian nasional masih didominasi oleh pemeriksaan logam tunggal, khususnya Pb.

Dominasi Pb dalam penelitian nasional menunjukkan adanya kesenjangan penelitian. Sebagian besar penelitian nasional membahas Pb pada berbagai kelompok berisiko, seperti perokok, operator SPBU, pekerja cat, dan pekerja sektor informal (Restuaji & Qibthiyyah, 2023; Pujiastuti & Restuaji, 2024; Susiani & Lestari, 2022; Lestari & Djajaningrat, 2021; Aruan & Manurung, 2021; Wulandari *et al.*, 2021). Kajian tentang Cd dan Hg sudah mulai berkembang, misalnya pada penelitian Renza dan Lestari (2023) serta Rofifah dan Lestari (2023) yang membahas Cd pada rambut pekerja las. Kajian Hg juga ditemukan pada penelitian Musafira dan Rasul (2022), Rosmiati dan Silvia (2021), serta Rahmadani *et al.* (2025) yang membahas Hg pada rambut pekerja tambang atau kelompok pengguna kosmetik tertentu. Namun, kajian tentang As, Cr, Ni, Mn, dan paparan multi-logam masih lebih terbatas. Padahal, paparan lingkungan dan pekerjaan sering terjadi dalam bentuk campuran beberapa logam.

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan kajian literatur yang membahas metode analitik dalam biomonitoring logam berat pada sampel biologis manusia. Narayanan (2026) dan Davcheva (2026) menjelaskan bahwa biomonitoring logam toksik berperan penting dalam penilaian risiko kesehatan, terutama pada kelompok yang berpotensi terpapar melalui lingkungan kerja maupun lingkungan sekitar. Kajian ini berfokus pada perbandingan metode analitik, jenis sampel biologis, jenis logam yang dianalisis, serta kesenjangan penelitian yang masih ditemukan. Dengan demikian, tinjauan ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai perkembangan metode analitik dalam biomonitoring logam berat dan menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya, khususnya dalam analisis multi-logam dan penguatan validasi metode.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Literatur yang dikaji berupa jurnal internasional dan nasional yang membahas metode analitik untuk biomonitoring logam berat pada sampel biologis manusia. Fokus kajian meliputi jenis sampel biologis, jenis logam yang dianalisis, serta metode laboratorium yang digunakan.

Penelusuran literatur dilakukan melalui beberapa basis data, yaitu PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, Garuda, dan SINTA. Kata kunci yang digunakan antara lain “biomonitoring logam berat”, “sampel biologis manusia”, “*heavy metal biomonitoring*”, “*human biological samples*”, “AAS”, “SSA”, “ICP-MS”, dan “ICP-OES”.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi publikasi ilmiah tahun 2020 sampai 2026, membahas logam berat pada sampel biologis manusia, serta mencantumkan metode analitik yang digunakan. Kriteria eksklusi meliputi publikasi yang tidak relevan, tidak membahas sampel manusia, tidak menjelaskan metode analitik, atau tidak membahas logam berat.

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan mengelompokkan literatur berdasarkan jenis sampel biologis, jenis logam yang dianalisis, metode analitik, kelebihan, keterbatasan, serta kesenjangan penelitian. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan uraian naratif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dalam tinjauan literatur ini diarahkan untuk menjelaskan keterkaitan antara metode analitik, jenis sampel biologis, dan logam berat yang dianalisis. Setiap literatur yang dikaji menunjukkan perbedaan dalam pemilihan sampel, jenis logam, serta teknik pemeriksaan laboratorium. Perbedaan tersebut penting untuk dipahami karena hasil biomonitoring sangat dipengaruhi oleh ketepatan metode analitik dan karakteristik sampel biologis yang digunakan.

Secara umum, penelitian internasional lebih banyak menggunakan metode multi-elemen dengan sensitivitas tinggi, seperti ICP-MS, ICP-OES, dan variasi ICP-MS lainnya. Sementara itu, penelitian nasional lebih banyak menggunakan SSA/AAS karena metode ini lebih umum digunakan untuk analisis logam tunggal seperti Pb, Cd, dan Hg. Tabel 1 disajikan untuk menggambarkan karakteristik literatur yang ditinjau berdasarkan negara, jenis sampel biologis, logam yang dianalisis, dan metode analitik.

Tabel 1. Karakteristik Artikel yang Direview.

No	Penulis/Tahun	Negara	Sampel biologis	Logam yang dianalisis	Metode analitik
1	Ghobakhloo <i>et al.</i> (2025); Topal <i>et al.</i> (2026); Li <i>et al.</i> (2026); Camacho-delaCruz <i>et al.</i> (2025); Sharma <i>et al.</i> (2025); _Sajnóg <i>et al.</i> (2021)	Iran, Turki, China, Meksiko, Republik Ceko, dan Polandia	Darah, Serum, Urin	Pb, Cd, Hg, As, Cr, Mn, Co, Ni, Sb, Sn, Zn, dan trace elements lain	ICP-MS, ICP-MS KED, ICP-DRC-MS

2	Hamouda <i>et al.</i> (2023); Ruiz <i>et al.</i> (2023)	Arab Saudi dan Spanyol	Rambut, kuku, Serum	Cr, Al, Cd, Pb, Hg, Ni, Mn, dan 28 unsur lain	ICP-MS
3	Palacios-Valoyes <i>et al.</i> (2024)	Kolombia	Darah	Hg dan Pb	<i>Direct Mercury Analyzer, GF-AAS</i>
4	Restuaji & Qibthiyyah (2023); Anatasari <i>et al.</i> (2024); Febiliony <i>et al.</i> (2025); Bamin <i>et al.</i> (2026); Herman <i>et al.</i> (2025); Murti & Harningsih (2023); Susiani & Lestari (2022); Lestari & Djajaningrat (2021); Syumarlianty & Harningsih (2025); Putri & Idayani (2021)	Indonesia	Darah	Pb	SSA/AAS, ICP-MS, ICP-OES, MP-AES
5	Pujiastuti & Restuaji (2024); Tamala & Hanum (2022); Salsabilla & Hananingtyas (2023); Levanta & Hananingtyas (2023)	Indonesia	Urin	Pb	SSA/AAS, ICP-OES
6	Wulandari <i>et al.</i> (2021); Aruan & Manurung (2021); Putri <i>et al.</i> (2025); Rachmawati <i>et al.</i> (2020)	Indonesia	Rambut, Kuku	Pb	SSA/AAS, ICP-OES
7	Lathifah <i>et al.</i> (2023); Wimpy <i>et al.</i> (2024a); Renza & Lestari (2023); Rofifah & Lestari (2023)	Indonesia	Urin, Darah, Rambut	Cd	SSA/AAS, FAAS
8	Rosmiati & Silvia (2021); Musafira & Rasul (2022); Wimpy <i>et al.</i> (2024b)	Indonesia	Rambut, Darah	Hg	AAS/SSA, <i>Mercury Analyzer</i>

Berdasarkan Tabel 1, literatur yang ditinjau menunjukkan bahwa biomonitoring logam berat pada sampel biologis manusia menggunakan berbagai jenis sampel, seperti darah, urin, rambut, kuku, dan serum. Penelitian internasional cenderung menggunakan lebih banyak jenis sampel dan menganalisis lebih banyak unsur logam dibandingkan penelitian nasional. Beberapa logam yang sering dianalisis dalam penelitian internasional adalah Pb, Cd, Hg, As, Cr, Mn, Co, Ni, Sb, Sn, Zn, dan *trace elements* lainnya. Hal ini terlihat pada penelitian Ghobakhloo *et al.* (2025), Topal *et al.* (2026), Li *et al.* (2026), Camacho-delaCruz *et al.* (2025), Sharma *et al.* (2025), dan Sajnóg *et al.* (2021).

Penelitian internasional juga lebih banyak menggunakan metode analitik multi-elemen, terutama ICP-MS dan variasinya. Ghobakhloo *et al.* (2025) menggunakan ICP-MS untuk menganalisis logam pada darah dan urin. Topal *et al.* (2026) menggunakan ICP-MS pada darah, serum, dan urin, sedangkan Li *et al.* (2026) menggunakan ICP-MS KED untuk menganalisis beberapa logam pada darah, serum, dan urin. Sajnóg *et al.* (2021) menggunakan ICP-DRC-MS pada urin fetal manusia. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penelitian

internasional lebih banyak mengarah pada analisis multi-logam dengan metode yang memiliki sensitivitas tinggi.

Pada penelitian nasional, kajian lebih banyak berfokus pada logam Pb dengan sampel darah, urin, rambut, dan kuku. Metode yang banyak digunakan adalah SSA/AAS, terutama pada penelitian Restuaji dan Qibthiyyah (2023), Pujiastuti dan Restuaji (2024), Aruan dan Manurung (2021), Wulandari *et al.* (2021), dan Putri *et al.* (2025). Selain Pb, beberapa penelitian nasional juga membahas Cd dan Hg, seperti Renza dan Lestari (2023), Rofifah dan Lestari (2023), Lathifah *et al.* (2023), Rosmiati dan Silvia (2021), Musafira dan Rasul (2022), serta Wimpy *et al.* (2024a; 2024b). Pola ini menunjukkan bahwa penelitian nasional sudah mulai membahas logam selain Pb, tetapi masih lebih banyak berpusat pada analisis logam tunggal.

Tabel 2. Perbandingan Metode Analitik.

Metode	Karakteristik analitik	Kelebihan utama	Keterbatasan utama	Sitasi
SSA/AAS	Sensitivitas sedang sampai tinggi, umumnya digunakan untuk analisis satu unsur, dan biaya relatif sedang	Banyak digunakan di laboratorium nasional, cocok untuk analisis logam tunggal seperti Pb, Cd, dan Hg pada sampel biologis	Umumnya hanya menganalisis satu unsur per pengukuran	Restuaji & Qibthiyyah (2023); Pujiastuti & Restuaji (2024); Aruan & Manurung (2021); Lathifah <i>et al.</i> (2023); Rosmiati & Silvia (2021)
FAAS	Sensitivitas sedang, kemampuan multi-elemen rendah, dan biaya relatif sedang	Cocok untuk analisis logam tertentu seperti Cd pada rambut	Sensitivitas lebih rendah dibanding GF-AAS dan ICP-MS	Renza & Lestari (2023); Planeta <i>et al.</i> (2021)
GF-AAS	Sensitivitas tinggi, kemampuan multi-elemen rendah, dan biaya sedang sampai tinggi	Cocok untuk logam berkadar rendah seperti Pb dalam darah	Waktu analisis lebih lama dan jumlah unsur yang dianalisis terbatas	Planeta <i>et al.</i> (2021); Palacios-Valoyes <i>et al.</i> (2024)
ICP-MS	Sensitivitas sangat tinggi, kemampuan multi-elemen sangat baik, dan biaya tinggi	Mampu menganalisis banyak unsur sekaligus dengan batas deteksi rendah	Biaya alat mahal, membutuhkan operator ahli, dan perlu kontrol kontaminasi ketat	Ghobakhloo <i>et al.</i> (2025); Topal <i>et al.</i> (2026); Sharma <i>et al.</i> (2025)
ICP-MS KED	Sensitivitas sangat tinggi, kemampuan multi-elemen sangat baik, dan biaya tinggi	Mengurangi gangguan poliatomik pada analisis multi-elemen	Membutuhkan optimasi instrumen dan biaya analisis tinggi	Li <i>et al.</i> (2026)
ICP-DRC-MS	Sensitivitas sangat tinggi, kemampuan multi-elemen sangat baik, dan sesuai untuk matriks biologis kompleks	Cocok untuk sampel biologis dengan volume kecil dan	Memerlukan instrumen khusus dan validasi metode	Sajnóg <i>et al.</i> (2021)

ICP-OES	Sensitivitas tinggi, kemampuan multi-elemen baik, dan biaya tinggi	kadar unsur yang rendah Cocok untuk analisis multi-elemen dan lebih cepat dibanding AAS	yang lebih kompleks Sensitivitas lebih rendah dibanding ICP-MS	Rachmawati <i>et al.</i> (2020); Syumarlianty & Harningsih (2025); Planeta <i>et al.</i> (2021)
MP-AES	Sensitivitas sedang sampai tinggi, kemampuan multi-elemen baik, dan biaya sedang sampai tinggi	Alternatif analisis logam dengan sistem plasma yang relatif praktis	Penggunaannya belum sebanyak ICP-MS dan AAS dalam penelitian biomonitoring nasional	Putri & Idayani (2021)
<i>Mercury Analyzer/ Direct Mercury Analyzer</i>	Sensitivitas tinggi untuk Hg, spesifik untuk merkuri, dan kemampuan multi-elemen terbatas	Spesifik untuk merkuri, cocok untuk sampel rambut dan darah	Tidak cocok untuk analisis multi-logam	Musafira & Rasul (2022); Palacios-Valoyes <i>et al.</i> (2024); Wimpy <i>et al.</i> (2024b)

Berdasarkan Tabel 2, metode analitik yang digunakan dalam biomonitoring logam berat memiliki karakteristik, kelebihan, dan keterbatasan yang berbeda. SSA/AAS banyak digunakan dalam penelitian nasional karena metode ini relatif umum tersedia di laboratorium dan sesuai untuk analisis logam tunggal seperti Pb, Cd, dan Hg. Metode ini digunakan dalam penelitian Restuaji dan Qibthiyyah (2023), Pujiastuti dan Restuaji (2024), Aruan dan Manurung (2021), Lathifah *et al.* (2023), serta Rosmiati dan Silvia (2021). Namun, keterbatasan SSA/AAS adalah umumnya hanya dapat menganalisis satu unsur dalam satu kali pengukuran.

ICP-MS menjadi metode yang banyak digunakan dalam penelitian internasional karena memiliki sensitivitas sangat tinggi dan mampu menganalisis banyak unsur sekaligus. Ghobakhloo *et al.* (2025), Topal *et al.* (2026), dan Sharma *et al.* (2025) menggunakan ICP-MS untuk analisis logam berat atau *trace elements* pada sampel biologis. Varian ICP-MS seperti ICP-MS KED dan ICP-DRC-MS juga digunakan untuk meningkatkan kualitas analisis pada matriks biologis, seperti pada penelitian Li *et al.* (2026) dan Sajnóg *et al.* (2021).

Temuan ini sejalan dengan Planeta *et al.* (2021), yang menjelaskan bahwa pemilihan metode instrumental perlu mempertimbangkan sensitivitas, kemampuan multi-elemen, dan karakteristik matriks sampel. ICP-MS lebih sesuai untuk analisis banyak unsur dengan kadar rendah, sedangkan AAS masih relevan untuk penelitian yang berfokus pada satu logam. Perbedaan ini menunjukkan kecenderungan bahwa penelitian internasional lebih banyak menggunakan ICP-MS, sementara penelitian nasional masih banyak menggunakan SSA/AAS.

Metode lain seperti FAAS, GF-AAS, ICP-OES, MP-AES, dan *Mercury Analyzer/Direct Mercury Analyzer* juga memiliki peran penting. FAAS digunakan untuk analisis Cd pada rambut, seperti pada penelitian Renza dan Lestari (2023). GF-AAS digunakan untuk analisis Pb darah, seperti pada penelitian Palacios-Valoyes *et al.* (2024). ICP-OES digunakan untuk analisis Pb pada rambut atau darah dalam penelitian Rachmawati *et al.* (2020) dan Syumarliyanty dan Harningsih (2025). MP-AES digunakan oleh Putri dan Idayani (2021) untuk pemeriksaan Pb darah. Sementara itu, *Mercury Analyzer/Direct Mercury Analyzer* digunakan untuk pemeriksaan Hg, seperti pada penelitian Musafira dan Rasul (2022), Palacios-Valoyes *et al.* (2024), dan Wimpy *et al.* (2024b).

Tabel 3. Hubungan Sampel Biologis dengan Jenis Paparan.

Sampel	Jenis paparan yang tergambar	Contoh logam	Interpretasi	Sitasi
Darah	Paparan aktif atau paparan yang masih beredar dalam tubuh	Pb, Cd, Hg, As	Darah dapat menggambarkan paparan internal yang masih berlangsung. Sampel ini banyak digunakan untuk melihat kadar logam yang beredar dalam tubuh serta hubungannya dengan indikator kesehatan seperti hemoglobin, eritrosit, tekanan darah, kreatinin, atau fungsi organ.	Martinez-Morata <i>et al.</i> (2023); Murti & Harningsih (2023); Susiani & Lestari (2022); Palacios-Valoyes <i>et al.</i> (2024); Wimpy <i>et al.</i> (2024a); Li <i>et al.</i> (2026)
Urin	Paparan baru dan proses ekskresi logam	Pb, Cd, As, Cr, Ni, Hg	Urin dapat digunakan untuk menilai logam yang diekskresikan tubuh. Sampel ini sering digunakan dalam biomonitoring karena pengambilannya relatif mudah, tetapi hasilnya perlu ditafsirkan dengan memperhatikan kondisi tubuh seperti hidrasi dan fungsi ginjal.	Sharma <i>et al.</i> (2025); Pujiastuti & Restuaji (2024); Tamala & Hanum (2022); Lathifah <i>et al.</i> (2023); Li <i>et al.</i> (2026)
Rambut	Paparan jangka panjang atau akumulatif	Pb, Hg, Cd	Rambut dapat menggambarkan paparan logam dalam jangka waktu lebih panjang karena logam dapat terakumulasi selama pertumbuhan rambut. Sampel ini banyak digunakan pada penelitian kelompok berisiko seperti pekerja tambang, pekerja bengkel, sopir, pekerja las, dan pengguna kosmetik tertentu.	Ruiz <i>et al.</i> (2023); Wulandari <i>et al.</i> (2021); Musafira & Rasul (2022); Rahmadani <i>et al.</i> (2025); Renza & Lestari (2023); Rofifah & Lestari (2023); Khanifah (2022); Rachmawati <i>et al.</i> (2020)
Kuku	Paparan kronis atau paparan masa lalu	Pb, Cd	Kuku dapat digunakan sebagai indikator paparan kronis atau paparan masa lalu. Sampel ini relatif mudah dikumpulkan, tetapi memerlukan pencucian dan preparasi yang baik untuk mengurangi kemungkinan kontaminasi eksternal.	Hamouda <i>et al.</i> (2023); Aruan & Manurung (2021); Putri <i>et al.</i> (2025)
Serum	Distribusi logam tertentu pada fraksi cair darah	Cd, Pb, Cr, Al	Serum digunakan dalam beberapa penelitian untuk mengukur logam tertentu pada fraksi cair darah. Interpretasinya perlu disesuaikan dengan jenis logam, tujuan pemeriksaan, dan konteks klinis atau paparan yang dikaji.	Topal <i>et al.</i> (2026); Hamouda <i>et al.</i> (2023); Li <i>et al.</i> (2026)

Berdasarkan Tabel 3, pemilihan sampel biologis sangat menentukan interpretasi hasil biomonitoring logam berat. Darah banyak digunakan untuk menggambarkan paparan aktif atau paparan yang masih beredar dalam tubuh. Sampel darah digunakan dalam penelitian Murti dan Harningsih (2023), Susiani dan Lestari (2022), Palacios-Valoyes *et al.* (2024), Wimpy *et al.* (2024a), dan Li *et al.* (2026). Pada beberapa penelitian tersebut, darah digunakan sebagai matriks untuk mengukur kadar logam serta melihat keterkaitannya dengan parameter biologis tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa darah menjadi salah satu sampel penting dalam biomonitoring paparan logam berat.

Urin digunakan untuk menilai logam yang diekskresikan tubuh. Sampel ini sering digunakan dalam biomonitoring karena pengambilannya relatif mudah dan tidak invasif. Sharma *et al.* (2025) menggunakan urin untuk analisis multi-elemen pada anak, remaja, dan dewasa muda. Dalam penelitian nasional, Pujiastuti dan Restuaji (2024), Tamala dan Hanum (2022), serta Lathifah *et al.* (2023) menggunakan urin untuk melihat paparan logam tertentu. Namun, interpretasi kadar logam dalam urin perlu memperhatikan kondisi tubuh seperti hidrasi, fungsi ginjal, dan kemungkinan koreksi kreatinin.

Rambut dan kuku lebih banyak digunakan untuk melihat paparan jangka panjang atau paparan kronis. Rambut digunakan dalam penelitian Ruiz *et al.* (2023), Wulandari *et al.* (2021), Musafira dan Rasul (2022), Rahmadani *et al.* (2025), Renza dan Lestari (2023), Rofifah dan Lestari (2023), Khanifah (2022), dan Rachmawati *et al.* (2020). Sampel rambut dapat menggambarkan akumulasi logam selama masa pertumbuhan rambut, tetapi perlu diperhatikan kemungkinan kontaminasi eksternal dari debu, sampo, pewarna rambut, atau lingkungan kerja. Kuku juga digunakan sebagai indikator paparan kronis, seperti pada penelitian Hamouda *et al.* (2023), Aruan dan Manurung (2021), dan Putri *et al.* (2025). Sampel kuku relatif mudah dikumpulkan, tetapi tetap membutuhkan proses pencucian dan preparasi yang baik.

Selain darah, urin, rambut, dan kuku, serum juga digunakan dalam beberapa penelitian sebagai sampel biologis. Topal *et al.* (2026), Hamouda *et al.* (2023), dan Li *et al.* (2026) menggunakan serum untuk mengukur logam tertentu pada fraksi cair darah. Namun, interpretasi serum perlu disesuaikan dengan jenis logam, tujuan pemeriksaan, dan konteks paparan yang dikaji. Dengan demikian, pemilihan sampel biologis harus disesuaikan dengan tujuan biomonitoring, jenis logam, dan waktu paparan yang ingin diamati.

Tabel 4. Kesenjangan Penelitian Berdasarkan Literatur.

Aspek	Temuan dari literatur	Kesenjangan penelitian	Sitasi
Jenis logam	Pb menjadi logam yang paling banyak diteliti dalam penelitian nasional, terutama pada	Kajian nasional masih lebih terbatas pada Cd, Hg, As, Cr, Ni, dan Mn. Analisis multi-	Restuaji & Qibthiyyah (2023); Susiani & Lestari (2022); Aruan & Manurung (2021);

	perokok, pekerja SPBU, pekerja bengkel, dan pekerja informal	logam masih lebih banyak ditemukan pada penelitian internasional	Putri & Idayani (2021); Ghobakhloo <i>et al.</i> (2025); Li <i>et al.</i> (2026); Sharma <i>et al.</i> (2025)
Sampel biologis	Darah, urin, rambut, kuku, dan serum telah digunakan sebagai matriks biomonitoring logam berat	Perbandingan antar sampel biologis dalam satu penelitian masih terbatas, terutama pada penelitian nasional	Martinez-Morata <i>et al.</i> (2023); Pujiastuti & Restuaji (2024); Khanifah (2022); Hamouda <i>et al.</i> (2023); Topal <i>et al.</i> (2026)
Metode analitik	ICP-MS lebih banyak digunakan pada penelitian internasional, sedangkan AAS/SSA masih dominan pada penelitian nasional	Penggunaan metode multi-elemen seperti ICP-MS, ICP-OES, dan MP-AES dalam penelitian nasional masih terbatas	Planeta <i>et al.</i> (2021); Ghobakhloo <i>et al.</i> (2025); Li <i>et al.</i> (2026); Restuaji & Qibthiyyah (2023); Pujiastuti & Restuaji (2024); Rachmawati <i>et al.</i> (2020); Putri & Idayani (2021)
Validasi metode	Beberapa penelitian internasional dan kajian metode lebih banyak menjelaskan aspek performa analitik, seperti sensitivitas, kemampuan multi-elemen, batas deteksi, dan prosedur analisis	Tidak semua penelitian nasional menjelaskan validasi metode secara lengkap, seperti LOD, LOQ, akurasi, presisi, dan kontrol kontaminasi	Planeta <i>et al.</i> (2021); Sajnóg <i>et al.</i> (2021)
Preparasi sampel	Rambut dan kuku membutuhkan tahapan preparasi seperti pencucian, pengeringan, dan destruksi untuk mengurangi kemungkinan kontaminasi eksternal	Berdasarkan telaah literatur, standar preparasi rambut dan kuku pada penelitian nasional masih perlu diperjelas dan diseragamkan	Ruiz <i>et al.</i> (2023); Hamouda <i>et al.</i> (2023); Aruan & Manurung (2021); Putri <i>et al.</i> (2025)

Berdasarkan Tabel 4, kesenjangan utama dalam literatur terletak pada dominasi penelitian Pb, terutama dalam penelitian nasional. Banyak penelitian nasional membahas Pb pada perokok, pekerja SPBU, pekerja bengkel, dan pekerja informal. Hal ini terlihat pada penelitian Restuaji dan Qibthiyyah (2023), Susiani dan Lestari (2022), Aruan dan Manurung (2021), dan Putri dan Idayani (2021). Sementara itu, kajian tentang Cd, Hg, As, Cr, Ni, Mn, dan paparan multi-logam masih lebih terbatas dalam penelitian nasional. Analisis multi-logam lebih banyak ditemukan pada penelitian internasional, seperti Ghobakhloo *et al.* (2025), Li *et al.* (2026), dan Sharma *et al.* (2025).

Kesenjangan lain terlihat pada metode analitik. Penelitian internasional lebih banyak menggunakan ICP-MS dan variasinya karena metode tersebut mendukung analisis multi-elemen dengan sensitivitas tinggi. Sebaliknya, penelitian nasional masih banyak menggunakan SSA/AAS. Metode ini tetap relevan untuk analisis logam tunggal, tetapi kurang menggambarkan paparan campuran logam. Padahal, paparan lingkungan dan pekerjaan sering melibatkan lebih dari satu logam, misalnya Pb, Cd, Hg, Cr, Ni, dan As.

Kesenjangan juga muncul pada aspek validasi metode dan preparasi sampel. Beberapa penelitian internasional dan kajian metode lebih banyak menjelaskan aspek performa analitik, seperti sensitivitas, kemampuan multi-elemen, batas deteksi, dan prosedur analisis. Namun, tidak semua penelitian nasional menjelaskan validasi metode secara lengkap, seperti LOD, LOQ, akurasi, presisi, dan kontrol kontaminasi. Selain itu, sampel biologis seperti rambut dan kuku membutuhkan preparasi yang baik, termasuk pencucian, pengeringan, dan destruksi, untuk mengurangi kemungkinan kontaminasi eksternal.

Secara keseluruhan, tinjauan ini menunjukkan bahwa penelitian biomonitoring logam berat di Indonesia perlu diarahkan pada analisis multi-logam, perbandingan beberapa sampel biologis, dan penggunaan metode analitik yang lebih sensitif. SSA/AAS masih dapat digunakan untuk penelitian yang berfokus pada satu logam. Namun, ICP-MS, ICP-OES, MP-AES, atau metode spesifik seperti *Mercury Analyzer* perlu dipertimbangkan jika penelitian ingin menganalisis banyak unsur atau kadar logam yang sangat rendah. Oleh karena itu, penguatan metode analitik menjadi faktor penting untuk meningkatkan kualitas hasil biomonitoring paparan logam berat pada manusia.

Penelitian Narayanan (2026) dan Davcheva (2026) mendukung bahwa biomonitoring logam berat penting dalam penilaian paparan dan risiko kesehatan manusia. Dalam konteks tinjauan ini, pengembangan biomonitoring perlu diarahkan pada pemilihan metode analitik yang lebih tepat, perluasan analisis multi-logam, penguatan validasi metode, serta pemilihan sampel biologis yang sesuai dengan pola paparan pada kelompok berisiko.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil tinjauan literatur, metode analitik memiliki peran penting dalam biomonitoring logam berat pada sampel biologis manusia. Penelitian nasional masih banyak menggunakan SSA/AAS karena metode ini relatif tersedia dan sesuai untuk analisis logam tunggal, terutama Pb. Sementara itu, penelitian internasional lebih banyak menggunakan metode multi-elemen dengan sensitivitas tinggi, seperti ICP-MS, ICP-MS KED, ICP-DRC-MS, dan ICP-OES.

Jenis sampel biologis yang digunakan juga memengaruhi interpretasi hasil biomonitoring. Darah dan urin lebih sesuai untuk menggambarkan paparan aktif atau proses ekskresi logam, sedangkan rambut dan kuku lebih menggambarkan paparan jangka panjang atau kronis. Serum juga digunakan dalam beberapa penelitian untuk melihat distribusi logam tertentu pada fraksi cair darah.

Kesenjangan utama yang ditemukan adalah dominasi penelitian nasional pada logam Pb, sedangkan kajian tentang Cd, Hg, As, Cr, Ni, Mn, dan paparan multi-logam masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas analisis multi-logam, membandingkan beberapa sampel biologis, serta memperkuat validasi metode dan preparasi sampel agar hasil biomonitoring lebih akurat.

REFERENSI

- Anatasari, I., Khanifah, F., & Meinawati, L. (2024). Gambaran Kadar Timbal (Pb) dalam Darah pada Petugas Parkir Bank BUMN di Jombang. *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan dan Analisisnya*, 5(2).
- Aruan, D. G. R., & Manurung, S. (2021). Analisa Kadar Logam Berat (Pb) pada Kuku Tukang Tambal Ban disepanjang Jalan Kapten Muslim secara Spektrofotometer Serapan Atom. *Jurnal Analis Laboratorium Medik*, 6(1), 42–48.
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Front. Pharmacol.*, 12, 643972.
- Bamin, N. J., Mu'awanah, I. A. U., & Anwar, C. (2026). Hubungan Kadar Timbal dalam Darah dengan Kadar Hemoglobin pada Perilaku Merokok Pekerja Bengkel Sepeda Motor. *Jurnal Analis Laboratorium Medik*, 11(1), 1–9.
- Camacho-delaCruz, A. A., Mendoza-Cano, O., Trujillo, X., Huerta, M., Ríos-Silva, M., Gonzalez-Curiel, I. E., Lugo-Radillo, A., Romo-García, M. F., Cuevas-Arellano, H. B., Hilerio-López, Á. G., Solano-Barajas, R., Bricio-Barrios, J. A., Uribe-Ramos, J. M., Ventura-Ramírez, J. F., Solano-Mendoza, A. A., Sánchez-Cárdenas, F., Benites-Godínez, V., Ríos-Bracamontes, E. F., Venegas-Ramírez, J., & Murillo-Zamora, E. (2025). The Screening and Correlation of Trace Elements in the Blood and Urine of School-Aged Children (5–12 Years): A Pilot Biomonitoring Study. *Toxics*, 13(6), 431.
- Davcheva, D. (2026). Human Biomonitoring For Toxic Metals – A Review of The Contemporary Perspectives. *KNOWLEDGE-International Journal*, 75(4), 341–346.
- Febiliony, A., Khanifah, F., & Eka Mildiana, Y. (2025). Gambaran Kadar Timbal (Pb) dalam Darah Petugas Parkir Bank BUMN di Jombang sebelum dan setelah Pemberian Vitamin C 75 mg per oral. *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan dan Analisisnya*, 6(1).
- Ghobakhloo, S., Khoshakhlagh, A.H., Mostafaii, G.R., & Carlsen, L. (2025). Biomonitoring of Metals in The Blood and Urine of Waste Recyclers from Exposure to Airborne Fine Particulate Matter (PM_{2.5}). *J Environ Health Sci Engineer*, 23(2).

- Hamouda, A. F., & Felemban, S. (2023). A Bio-Indicator Pilot Study Screening Selected Heavy Metals in Female Hair, Nails, and Serum from Lifestyle Cosmetic, Canned Food, and Manufactured Drink Choices. *Molecules*, 28(14), 5582.
- Herman, Hayati, M. H., Zalsabila, A. A., Tandjungbulu, Y. F., & Indriputri, C. (2025). Hubungan Kadar Hemoglobin (Hb) dan Kadar Timbal (Pb) pada Tukang Cat di Kota Makassar. *Jurnal Media Analis Kesehatan*, 16(1), 38–47.
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Heavy Metals: Toxicity and Human Health Effects. *Arch Toxicol.*, 99(1), 153–209.
- Khanifah, F. (2022). Hubungan Kadar Timbal (Pb) pada Rambut dan darah Pekerja Bengkel Motor sebagai Bioindikator di Kabupaten Jombang. *Jurnal Wiyata: Penelitian Sains dan Kesehatan*, 9(2), 142–148.
- Lathifah, Q. A., Hermawati, A. H., & Kurniawati, D. F. R. (2023). Cadmium Levels in the Urine of Cigarette Smokers in Bangoan village, Tulungagung district. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi dan Terapan*, 8(1), 44–49.
- Lestari, D., & Djajaningrat, H. (2021). Hubungan Antara Positif Kadar Timbal Darah dengan Hasil Hitung Retikulosit Pekerja Cat Oplosan. *Journal of Indonesian Medical Laboratory and Science (JoIMedLabS)*, 2(1), 25–38.
- Levanta, D. S., & Hananingtyas, I. (2023). Paparan Timbal dalam Urin Remaja Pada Kejadian Gangguan Sistem Saraf dan Keseimbangan di Kecamatan Curug. *Public Health Risk Assessment Journal*, 1(1).
- Li, Z., Wang, L., Xu, K., Lu, Y., & Zhang, D. (2026). A Toxic Burden in Ningbo, Zhejiang Province: Elevated Heavy Metal Concentrations in Sanitation Workers. *Front. Public Health*, 14, 1728011.
- Martinez-Morata, I., Sobel, M., Tellez-Plaza, M., Navas-Acien, A., Howe, C. G., & Sanchez, T. R. (2023). A state-of-the-science review on metal biomarkers. *Curr Environ Health Rep.*, 10(3), 215–249.
- Murti, A., & Harningsih, T. (2023). Hubungan kadar timbal dalam darah terhadap nilai eritrosit pada komunitas ibu-ibu di Muara Angke Jakarta Utara. *Jurnal Farmasetis*, 12(2), 171–176.
- Musafira, & Rasul, E. (2022). Analisis Kadar Merkuri (Hg) pada Rambut Pekerja Tambang di Pertambangan Emas Tanpa Ijin (PETI) Kabupaten Parigi Moutong dalam Hubungannya dengan Frekuensi Konsumsi Ikan. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 8(3), 308–313.
- Narayanan, M. (2026). Heavy Metal Exposure Among Industrial Workers Mechanisms of Toxicity Biomonitoring Strategies and Public Health Risk Assessment. *Discov Public*

Health, 23, 146.

- Palacios-Valoyes, E., Salas-Moreno, M. H., & Marrugo-Negrete, J. L. (2024). Biomonitoring of Mercury and Lead Levels in the Blood of Children Living near A Tropical River Impacted by Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Colombia. *Toxics*, 12(10), 744.
- Planeta, K., Kubala-Kukus, A., Drozd, A., Matusiak, K., Setkiewicz, Z., & Chwiej, J. (2021). The Assessment of the Usability of Selected Instrumental Techniques for the Elemental Analysis of Biomedical Samples. *Sci Rep*, 11, 3704.
- Pujiastuti, R., & Restuaji, I. M. (2024). Penentuan Kadar Timbal Dalam Urine Dengan Metode SSA Pada Mahasiswa Perokok Elektrik di IIK Bhakta Kediri. *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan dan Analisisnya*, 4(2).
- Putri, M. P., Prodyanatasari, A., Purnadianti, M., & Agustina, N. (2025). Paparan Tembakau terhadap Kadar Pb pada Kuku Pekerja Linting Rokok di Pabrik Rokok X Kabupaten Tulungagung. *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan dan Analisisnya*, 6(1).
- Putri, N. L. N. D., & Idayani, S. (2021). Hubungan Kadar Timbal dalam Darah dengan Tekanan Darah pada Pekerja Bengkel Kendaraan di Kecamatan Tampaksiring, Kabupaten Gianyar tahun 2019. *Bali Medika Jurnal*, 8(1), 82–89.
- Rachmawati, N., Anliza, S., Hilya, H., Lestari, S. I., & Novita. (2020). Penentuan Kadar Logam Timbal pada Rambut Supir Bus Rute Tangerang–Padang–Surabaya–Yogyakarta di Terminal Poris Tangerang. *Jurnal Kesehatan Poltekkes Palembang*, 15(2), 73–79.
- Rahmadani, N. T., Baharuddin, A., & Sani, A. (2025). Analisis Faktor yang Berhubungan dengan Kadar Merkuri pada Rambut Ibu Rumah Tangga Pengguna Krim Pemutih Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 6(2), 217–227.
- Renza, P. I. M., & Lestari, M. W. (2023). Hubungan Kadar Kadmium (Cd) dalam Rambut dengan Kadar Asam Urat pada Pekerja Las di Kelurahan Banaran, Kecamatan Grogol, Kabupaten Sukoharjo. *JUMANTIK (Jurnal Ilmiah Penelitian Kesehatan)*, 8(1), 1–7.
- Restuaji, I. M., & Qibthiyyah, S.R.M. (2023). Penentuan Konsentrasi Timbal Dalam Darah dengan Metode SSA Pada Mahasiswa Perokok Elektrik di IIK Bhakta Kediri. *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan dan Analisisnya*, 4(1), 46-53.
- Rofifah, K. W., & Lestari, M. W. (2023). Analisis Paparan Kadar Kadmium (Cd) pada Rambut dengan Kejadian Hipertensi Pekerja Las di Kelurahan Banaran, Kecamatan Grogol, Kabupaten Sukoharjo. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(1), 1–8.
- Rosmiati, K., & Silvia, D. (2021). Analisis Kadar Merkuri (Hg) Pada Rambut Pekerja Tambang di Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Di Kabupaten Kuansing. *Jurnal Kesehatan Saelmakers PERDANA (JKSP)*, 4(2), 398-402.

- Ruiz, R., Estevan, C., Estévez, J., Alcaide, C., Sogorb, M. A., & Vilanova, E. (2023). Reference Values on Children's Hair for 28 Elements (Heavy Metals and Essential Elements) Based on A Pilot Study in A Representative Non-Contaminated Local Area. *Int. J. Mol. Sci.*, 24(9), 8127.
- Sajnog, A., Tkaczyk, M., Stańczyk, M., Szaflik, K., Suliburska, J., Kocyłowski, R., & Barańkiewicz, D. (2021). A New Procedure for the Determination of 21 Macro- and Trace Elements in Human Fetal Urine Using An Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry with Dynamic Reaction Cell (ICP-DRC-MS) Equipped with A Micro-Flow Nebulizer. *Talanta*, 222, 121672.
- Salsabilla, N. F., & Hananingtyas, I. (2023). Hubungan Pengetahuan dan Konsumsi Vitamin C dengan Kadar Timbal dalam Urin Remaja di Kecamatan Curug. *Public Health Risk Assessment Journal*, 1(1).
- Sharma, B.M., Komprdová, K., Lörinczová, K., Kuta, J., Příbylová, P., Scheringer, M., Šebejová, L., Piler, P., Zvonař, M., & Klánová, J. (2025). Human Biomonitoring of Essential and Toxic Trace Elements (Heavy Metals and Metalloids) in Urine of Children, Teenagers, and Young Adults from A Central European Cohort in The Czech Republic. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 35(5), 730-745.
- Susiani, S., & Lestari, M. W. (2022). Hubungan Kadar Timbal dalam Darah dengan Kadar Hemoglobin pada Operator SPBU Gombel Semarang. *Jurnal Surya Medika*, 8(3), 138–145.
- Syumarlianty, M., & Harningsih, T. (2025). The Correlation Between Blood Lead Levels and Smoking Habits Among Retail Gasoline Sellers. *Indonesian Journal of Global Health Research*, 7(5), 11–22.
- Tamala, D., & Hanum, G. R. (2022). Analysis of Lead (Pb) Heavy Metal Content in Smoking Farmers. *Medicra (Journal of Medical Laboratory Science Technology)*, 5(2), 115–118.
- Topal, N., Pak Demir, M., Kulaç, A., Yurtsever, B., Dinç, D., & Aksungar, F. (2026). A Heavy Metal and Trace Element Biomonitoring Study in a Young Cohort (Aged 18–24) in Istanbul, Turkey. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 23(2), 233.
- Wimpy, W., Listiawati, E., Kadam, L. N., & Oksani, T. W. (2024a). Profil Kadmium, Kreatinin dan Ureum Darah Pekerja Pasar Besi Tua Semanggi. *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah STIKES Kendal*, 14(1), 1–10.
- Wimpy, W., Widhiyastuti, E., & Puspitasari, L. (2024b). Evaluation of Blood Mercury Levels and Creatinin Levels in Indonesian Traditional Gold Miners in Central Java. *Indonesian Journal of Global Health Research*, 6(4), 2369–2376.

Wulandari, D. D., Rohmah, W., Nidianti, E., Santoso, A. P. R., & Andini, A. (2021). The Effect of Using Personal Protection Equipment (PPE), Mileage, and Smoking Habits on Hair Lead (Pb) Levels. *Medicra (Journal of Medical Laboratory Science Technology)*, 4(1), 50–53.