

ANALISIS PERBANDINGAN PENETAPAN KADAR KANDUNGAN MERKURI (HG) DAN TIMBAL (PB) PADA SAMPEL BIOLOGIS (URIN, DARAH, ASI) DAN PRODUK KRIM KOSMETIK MENGGUNAKAN METODE ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY (AAS)

Fania Putri Wiba Maharani^{1*}, Tita Amalya Nadhifah², Axelando Carlos Febiyano³, Erlyana Nova Roykhatustita⁴, Ananda Syalomita Kassang⁵, Khafida Azida Ulil Khusna⁶, Naswa Salsabila⁷

Program Studi Farmasi, Universitas Negeri Semarang^{1,2,3,4,5,6,7}

*Corresponding Author : faniamaharani2@students.unnes.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kandungan serta toksisitas merkuri (Hg) dalam sampel biologi seperti darah, rambut, urin, dan ASI serta produk krim kosmetik menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Metode penelitian yang digunakan adalah *systematic literature review* dengan pengumpulan artikel ilmiah nasional dan internasional yang dipublikasikan pada periode 2015–2025, diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi menggunakan pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*). Hasil kajian menunjukkan bahwa AAS, termasuk pengembangannya seperti Cold Vapor AAS (CV-AAS) untuk merkuri dan Graphite Furnace AAS (GF-AAS) untuk timbal, banyak digunakan karena memiliki sensitivitas, selektivitas, dan akurasi yang baik terhadap berbagai matriks sampel. Pada sampel biologis, metode CV-AAS dan FI-CV-AAS memberikan batas deteksi yang sangat rendah untuk analisis merkuri, sedangkan GF-AAS efektif untuk penentuan timbal pada konsentrasi jejak. Sementara itu, sebagian besar penelitian pada krim pemutih wajah menunjukkan kandungan merkuri yang melebihi atau tidak memenuhi ketentuan regulasi, meskipun beberapa berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan. Simpulan penelitian menunjukkan bahwa AAS merupakan metode yang paling umum dan aplikatif dalam analisis Hg dan Pb pada sampel biologis dan kosmetik karena prosedur yang relatif sederhana, waktu analisis yang cepat, serta kinerja analitik yang memadai.

Kata kunci : air susu ibu, *atomic absorption spectrophotometry*, darah, krim pemutih wajah, merkuri, rambut, urin

ABSTRACT

This study aims to analyze and compare the content and toxicity of mercury (Hg) in biological samples such as blood, hair, urine, and breast milk as well as cosmetic cream products using the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method. The research method used is a systematic literature review by collecting national and international scientific articles published in the period 2013–2025, selected based on inclusion and exclusion criteria using the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis) guidelines. The results of the study indicate that AAS, including its developments such as Cold Vapor AAS (CV-AAS) for mercury and Graphite Furnace AAS (GF-AAS) for lead, is widely used because it has good sensitivity, selectivity, and accuracy against various sample matrices. Meanwhile, most studies on facial whitening creams show mercury content that exceeds or does not meet regulatory requirements, although some are below the maximum limit. The study concludes that AAS is the most common and applicable method for Hg and Pb analysis in biological and cosmetic samples due to its relatively simple procedure, fast analysis time, and adequate analytical performance.

Keywords : breast milk, *atomic absorption spectrophotometry*, blood, facial whitening cream, mercury, hair, urine

PENDAHULUAN

Merkuri atau raksa (Hg) merupakan logam yang dapat ditemukan di alam dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik, serta tersebar pada batuan, bijih tambang, tanah, air, dan udara (BPOM, 2004). Logam ini merupakan satu-satunya unsur yang berwujud cair pada kondisi standar dan mudah menguap ketika terkena udara. Merkuri memiliki warna perak keabu-abuan. Berdasarkan ketentuan resmi Uni Eropa, merkuri termasuk zat berbahaya bagi ekosistem perairan, bersifat toksik jika terhirup, dan menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia. WHO menjelaskan bahwa merkuri adalah unsur alami yang terbagi dalam tiga kelompok utama, yaitu merkuri dalam bentuk cair dan gas, merkuri anorganik seperti merkuri klorida, asetat, dan sulfida, serta merkuri organik (Pridianata *et al.*, 2018). Pencemaran merkuri di kawasan pertambangan disebabkan oleh metode amalgamasi yang digunakan oleh para pekerja dalam upaya penimbunan logam emas dari hasil limbah bijih dan tailing. Tanpa pencegahan dan pengendalian, paparan merkuri dapat menimbulkan dampak kesehatan. Secara umum, unsur merkuri dan metil merkuri sangat beracun dan dapat memengaruhi suatu sistem saraf pusat dan perifer. Sedangkan merkuri organik berdampak pada kesehatan seperti iritasi pada mata, kulit, gangguan ginjal dan saluran pencernaan. Gangguan kesehatan akibat paparan merkuri dapat terjadi setelah logam merkuri terhirup, tertelan, atau bahkan diserap oleh tubuh. Penambangan emas berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat berupa penyakit yang belum pernah dilaporkan sebelumnya (Debora *et al.*, 2023).

Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) adalah instrumen analisis yang digunakan untuk menentukan konsentrasi logam dan metaloid berdasarkan penyerapan radiasi oleh atom bebas pada panjang gelombang tertentu sesuai sifat masing-masing unsur. Teknik ini bersifat selektif, spesifik, memiliki batas deteksi rendah, serta relatif ekonomis karena proses serapannya terutama dipengaruhi oleh temperatur. AAS terdiri dari tiga komponen utama yaitu sistem atomisasi, sumber radiasi, dan unit fotometrik. Dibandingkan spektrofotometri konvensional, AAS mampu menganalisis berbagai unsur dalam satu sampel dengan sensitivitas tinggi, rentang pengukuran luas (ppm hingga persen), serta pembacaan hasil secara langsung. Namun, metode ini tetap memiliki kelemahan seperti gangguan kimia yang dapat menghambat proses atomisasi (misalnya pengaruh fosfat pada Ca) serta gangguan ionisasi ketika atom tereksitasi dan menghasilkan emisi yang dapat mengganggu pengukuran (Wahab *et al.*, 2024).

Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) merupakan salah satu teknik analisis instrumental yang paling luas digunakan untuk penentuan kadar logam dalam berbagai matriks, seperti air, tanah, pangan, dan sampel biologis. Metode ini memanfaatkan proses penyerapan radiasi oleh atom netral pada panjang gelombang tertentu, sehingga memungkinkan analisis kuantitatif unsur logam dengan sensitivitas tinggi dan selektivitas yang baik. Seiring meningkatnya kebutuhan pemantauan kualitas lingkungan dan kontrol kualitas produk, kebutuhan terhadap metode analisis logam yang andal dan terstandarisasi juga semakin besar (Ningrum *et al.*, 2025). Dalam dua dekade terakhir, berbagai instrumen AAS telah dikembangkan dengan peningkatan performa, baik dari sisi stabilitas sumber radiasi, efisiensi atomisasi, maupun kemampuan deteksi unsur pada konsentrasi yang lebih rendah. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa parameter kinerja instrumen seperti linearitas, presisi, batas deteksi, dan akurasi berperan penting dalam memastikan validitas hasil analisis logam. Evaluasi sistematis terhadap parameter tersebut diperlukan untuk menilai kompetensi instrumen dalam mendukung analisis laboratorium pendidikan, penelitian, dan pengujian (Karim *et al.*, 2025).

Beberapa studi menunjukkan bahwa instrumen AAS tipe nyala masih menjadi pilihan utama di banyak laboratorium karena kemudahan operasional dan biaya analisis yang relatif lebih rendah dibandingkan teknik atomik lainnya. Penggunaan *Certified Reference Materials*

(CRM) juga menjadi aspek penting dalam menjamin ketertelusuran pengukuran serta konsistensi data antar laboratorium. Di sisi lain, variasi performa antar model dan generasi instrumen AAS menimbulkan kebutuhan untuk meninjau kembali sejauh mana teknologi AAS konvensional dapat memenuhi tuntutan analisis logam modern yang semakin kompleks (Haura & Utami, 2025). Berdasarkan latar tersebut, artikel review ini bertujuan mengkaji perkembangan teknologi AAS, membandingkan parameter kinerja yang dilaporkan pada berbagai penelitian, serta menyoroti tantangan dan peluang penerapan AAS dalam analisis logam. Selain itu, ulasan ini memberikan penekanan pada pentingnya validasi instrumen dalam konteks pendidikan laboratorium serta akurasi pengujian yang berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan kualitatif non-eksperimental yang bersifat deskriptif untuk mengidentifikasi kandungan merkuri (Hg) serta tingkat toksisitasnya dalam berbagai sampel biologis. Data dikumpulkan secara retrospektif dan dianalisis secara deskriptif melalui literature review dengan menghimpun artikel dan jurnal ilmiah yang telah dipublikasikan pada tingkat nasional maupun internasional. Sumber referensi diperoleh melalui pencarian pada Google Scholar, PubMed, dan ScienceDirect menggunakan kata kunci seperti "*Analysis*", "*Toxicity*", "*Mercury*", "*Biological Samples*", serta kata kunci tambahan terkait penetapan kadar merkuri menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*. Kriteria inklusi mencakup artikel dan publikasi ilmiah dalam kurun waktu 2015-2025 yang membahas analisis kandungan dan toksisitas merkuri pada sampel biologis serta penggunaan metode AAS, tersedia dalam bahasa Indonesia atau Inggris, dan dapat diakses secara bebas. Kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak membahas analisis merkuri, tidak menggunakan metode AAS, tidak tersedia dalam akses penuh, atau tidak termasuk dalam rentang tahun publikasi yang ditetapkan.

HASIL

Tabel 1. Hasil Literature Review

Analit	Sampel	Metode	Sistem
Merkuri	Darah	CV-AAS	Volume sampel: 500 µL Metode: Sampel dilakukan perlakuan awal dengan 1 mL 0,2% (b/v) larutan Triton X-100 dan 100 µL larutan penstabil (0,5% K ₂ Cr ₂ O ₇ dalam 50% HNO ₃). Ditempatkan dalam oven selama 16 jam (60±5°C). Didinginkan lalu diencerkan 1:20 dalam 5,4 mL larutan asam (1% HNO ₃ dan 2% H ₂ SO ₄ v/v). Detektor: 253,7 nm dalam sel optik 260 nm. Hasil: > 3,8 µg/L
Merkuri (Hg)	Darah	FI-CV-AAS	Volume sampel: 1:10 Metode: 1 mL dari 0,8 µmol L ⁻¹ larutan tetraethylthiuram disulfide (TETD) dalam etanol ditambahkan dalam 10 mL larutan standar (5 µL L ⁻¹), dan sampel darah (1:10). Detektor: 253,7 nm LOD: 0,03 µL/L Recovery: >97%
Timbal (Pb)	Darah	GF-AAS	Instrumen: GF-AAS Varian Spectra AA-880, lampu katoda berongga Pb, lampu deuterium untuk koreksi latar. - Persiapan sampel: 200 µL darah + 800 µL larutan antifoam 5% + 1.000 µL HNO ₃ 1,6 M,

			stabilisasi 10 menit, sentrifugasi 5 menit ($2.884 \times g$). - Analisis: Supernatan diukur pada 283,3 nm. - Rentang linear: 10–100 $\mu\text{g/L}$. - LOD: 4,15 $\mu\text{g/L}$. - LOQ: 12,59 $\mu\text{g/L}$.
Merkuri (Hg)	Darah	AAS	Volume Sampel: 0,1 mL Metode: masukan sampel dalam 12 mL polipropilen ditambahkan 3,2 mL larutan H_2SO_4, diamkan selama 20 menit. Ditambahkan 4 mL H_2O dan 0,4 mL KMnO_4 5%, panaskan pada suhu 50C 30 menit. Sampel didinginkan dan ditambahkan 0,5 mL campuran NaCl dan $(\text{NH}_2\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ 12%:12%. Kemudian, sampel dilarutkan dengan 1:6 asam hidroklorat 2%. Hasil: 74,3% kandungan merkuri >0,01 ppm
Merkuri (Hg)	Rambut	AAS	Preparasi sampel: Rambut dipotong acak ukuran 0,5–1 cm sebanyak 2 g. Dilakukan destruksi basah menggunakan campuran HNO_3 dan HCl hingga larutan menjadi kuning jernih. Kalibrasi standar: Deret standar dibuat dari larutan induk Hg 1000 mg/L. Diperoleh persamaan kalibrasi: $y = 217,481x + 17,121$ Koefisien korelasi (r) = 0,999 Instrumen: SSA/AAS Panjang gelombang: 253,7 nm Hasil: Kadar tertinggi: 0,0312 ppm Kadar terendah: 0,00008 ppm Semua sampel < 1–2 ppm (ambang WHO)
Merkuri (Hg)	Rambut	AAS	Sampel: Rambut pekerja tambang emas tanpa izin (PETI) Preparasi sampel: Rambut sebanyak 2 g dipotong kecil, dilakukan destruksi basah menggunakan campuran HNO_3 dan HCl (aqua regia) hingga larutan berubah jernih. Sampel hasil destruksi kemudian dianalisis dengan AAS. Instrumen & Kalibrasi: Pengukuran menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom dengan panjang gelombang 253,7 nm. Hasil kalibrasi menghasilkan persamaan: $y = 217,481x + 17,121$, dengan koefisien korelasi $r = 0,999$, menunjukkan linearitas sangat baik. Hasil analisis: Dari 10 pekerja PETI: Kadar tertinggi: 0,0312 ppm Kadar terendah: 0,00008 ppm Rata-rata: 0,0155 ppm Seluruh kadar merkuri berada jauh di bawah batas aman WHO (1–2 ppm). Interpretasi: Walaupun kadar Hg masih rendah, keberadaan merkuri di seluruh sampel menunjukkan bahwa pekerja PETI telah mengalami paparan kronis akibat aktivitas amalgamasi emas yang menggunakan

			merkuri.
Merkuri (Hg)	Rambut	AAS	Sampel: rambut 50-100 gram Metode: Sampel diujikan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).
Merkuri (Hg)	Rambut	Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)	Preparasi Sampel • Rambut diambil dari bagian belakang kepala 50 responden di kawasan pasca tambang. • Rambut dicuci dengan aseton, deterjen, dan air deionisasi, dikeringkan, lalu didestruksi basah dengan 3 mL HNO₃ pekat dan 1 mL HClO₄ pekat di hot plate pada 120 °C hingga volume 1–2 mL. • Setelah didinginkan, ditambahkan 1 mL H₂O₂ 30% dan diencerkan dengan air deionisasi hingga 10 mL. Analisis Merkuri • Larutan rambut hasil destruksi dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 253,7 nm untuk menentukan konsentrasi merkuri. Sistem Instrumen • SSA digunakan sebagai instrumen utama dengan panjang gelombang khas Hg, larutan sampel dibandingkan dengan kurva kalibrasi standar untuk kuantifikasi. Hasil Akhir • Konsentrasi merkuri di rambut responden tinggi; nilai median 4,08 µg/g (melebihi batas aman WHO 2 µg/g). • Hasil menunjukkan bahwa merkuri terdeteksi secara signifikan dalam seluruh sampel rambut.
Merkuri (Hg)	Urin	AAS	Sampel: 20 urin yang berbeda. Metode: Pengukuran dilakukan menggunakan alat AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) pada semua kontrol dan sampel perlakuan di TrasLab Jakarta.
Merkuri (Hg)	Urin	CV-AAS	Sampel: urin Metode: dianalisis merkuri total dengan CV-AAS (PerkinElmer, Spektrometer 1100B dengan MHS 20 dan unit amalgamasi), menggunakan natriumborohidrida (NaBH ₄) untuk reduksi.
Merkuri (Hg)	Urin	CV-AAS	Sampel: 50 mL urin dari 30 pekerja amalgamasi dan 30 pekerja non amalgamasi Metode: dianalisis menggunakan CV-AAS Hasil: • Pekerja amalgamasi: 24,08 µgHg/g • Pekerja non amalgamasi: 19,72 µgHg/g
Merkuri (Hg)	ASI	CV-AAS	Sampel: ASI Metode: dianalisis merkuri total dengan CV-AAS (PerkinElmer, Spektrometer 1100B dengan MHS 20 dan unit amalgamasi), menggunakan natriumborohidrida (NaBH ₄) untuk reduksi.

Merkuri (Hg)	ASI	AAS	Sampel: ASI 25 mL Metode: sampel susu dicerna dalam unit pencernaan kaca semi tertutup menggunakan 7 mL HNO₃ (Merck, Deutschland) dan 7 mL hidrogen peroksida 30% (Merck, H₂O₂). Volume disesuaikan dengan ddH₂O setelah didinginkan hingga 50 mL. Merkuri diidentifikasi menggunakan merkuri/hidrida (FIAS 4100, Perkins) berat lampu merkuri katoda berongga, dioperasikan pada panjang gelombang 253,7 nm, dalam semua pencernaan yang menggunakan penyerapan uap dingin spektrofotometri atom.
Merkuri (Hg)	Krim Pemutih Wajah	AAS	Sampel: 1g sampel krim Metode : Sampel dianalisis kadar merkuri total menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 253,7 nm, setelah sampel didekstruksi dengan campuran HNO₃ pekat dan H₂SO₄ serta diencerkan hingga 25 mL, dengan batas deteksi 0,001 mg/L, kemudian hasil pengukuran dibandingkan dengan ambang batas BPOM (≤ 1 ppm).
Merkuri (Hg)	Krim Pemutih Wajah Illegal	AAS	Sampel: 1g sampel krim Metode: Sampel didekstruksi menggunakan 5 mL HNO₃ pekat yang dipanaskan pada suhu 60–70°C hingga sampel larut, kemudian setelah dingin ditambahkan 2 mL H₂SO₄ dan dipanaskan kembali hingga larutan menjadi jernih. Larutan hasil destruksi selanjutnya dipindahkan ke labu ukur 25 mL dan diencerkan dengan aquades sebelum dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom pada panjang gelombang 253,7 nm. Metode ini memiliki batas deteksi sebesar 0,001 mg/L, dan hasil pengukuran kadar merkuri dibandingkan dengan batas maksimum yang ditetapkan BPOM, yaitu ≤ 1 ppm.
Merkuri (Hg)	Krim Pemutih Wajah	AAS	Sampel: 11 sampel Krim yang berbeda (1-2 gram) Metode: Didestruksi, kemudian ditambahkan 10 mL HNO₃ pekat dan 10 mL H₂SO₄, serta diencerkan dengan aquades hingga mencapai 50 mL. Campuran tersebut dipanaskan selama 1 jam, didinginkan selama 15 menit, lalu ditambahkan 10 mL campuran HNO₃–HClO₄ (1:1) dan dipanaskan kembali hingga larutan menjadi jernih dan muncul uap putih. Larutan hasil destruksi kemudian digunakan sebagai sampel uji dan dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) dengan pemasangan lampu katoda merkuri dan pengukuran pada panjang gelombang 253,7 nm. Nilai serapan sampel dibandingkan dengan deret larutan standar Hg (0–10 ppb), yang digunakan untuk menyusun kurva kalibrasi dan persamaan regresi linear sebelum menentukan kadar merkuri dalam sampel krim pemutih.
Merkuri (Hg)	Krim pemutih	CV-AAS (Cold Vapour Atomic Absorption Spectrophotometry)	Analisis Kualitatif Preparasi Sampel • 2 gram sampel + 25 mL aquadest + 10 mL larutan aqua regia • Diuapkan hingga setengah volume • Ditambahkan 10 mL aquadest • Dipanaskan 10 menit, didinginkan, dan

			disaring Pengujian dengan Pereaksi Warna • 5 mL larutan uji + 1-2 tetes KI 0,5 N • Positif: endapan orange Analisis Kuantitatif • 3 gram sampel + 8 mL HNO₃ 65% dan 25 mL H₂O₂ • Dipanaskan 2 jam dan disaring, dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL • Ditambah 1 tetes KMnO₄ % dan ad aquadest Pengukuran dengan AAS • Standar 10; 20; 30; 40; dan 50 ppb • Panjang gelombang 235,7 nm • Sistem tanpa nyala (cold vapour) Hasil • Kualitatif: Endapan kuning (negatif) • Kuantitatif: $\leq 0,1 \mu\text{g/kg}$
Merkuri (Hg)	Krim pemutih wajah	AAS	Preparasi Sampel • Sampel krim pemutih (A, B, C) ditimbang, dilarutkan dengan etanol 96%, dihomogenkan, lalu disaring. Preparasi Merkuri • Sampel didestruksi memakai HNO₃ pekat + H₂O₂, dipanaskan hingga jernih, didinginkan, diencerkan, lalu dianalisis dengan AAS. Sistem Instrumen • Hg: AAS, destruksi asam, pengukuran pada panjang gelombang khas merkuri. Hasil • Merkuri: Sampled A,B,C positif (Tidak memenuhi Standar BPOM)
Merkuri (Hg)	Krim pemutih wajah	AAS	Preparasi Sampel: Sampel: 3 g dengan 2 sampel berbeda Metode: Sampel dideduksi menggunakan 4 mL H₂O₂ dan 16 mL HNO₃ 65% yang dipanaskan menggunakan <i>heating mantle</i> selama 2 jam. Lalu disaring dan filtrat ditambahkan mili-Q hingga tanda batas. Preparasi Kualitatif: • Sampel ditambahkan 5-10 tetes NaOH 2 M → endapan kuning → positif merkuri • Sampel ditambahkan 5-10 tetes HCl 0,1 N → endapan putih → positif merkuri Detektor: VGA-AAS 253,7 nm Hasil: • Sampel A: 24,05 mg/L • Sampel B: 38,74 mg/L
Merkuri (Hg)	Krim Pemutih wajah	SSA (Spektrofotometri Serapan Atom) – Cold Vapor	Preparasi: • Sampel $\pm 0,15 \text{ g}$ • Destruksi basah (HCl:HNO₃ = 3:1) • Pemanasan 80°C ± 3 jam Sistem Instrumen: • Panjang gelombang: 253,7 nm

			• Mode atomisasi: Cold Vapor (VGA) • Reductant: SnCl₂ 2% (1 mL/min) • Asam: HNO₃ 0,05 M (1 mL/min) • Gas A: Argon (50 psi) • Lampu: Mercury Hollow Cathode Lamp
			Validasi: • Linearitas: R = 0,99922 • LOD: 2,1552 µg/L • LOQ: 7,184 µg/L • Akurasi: 88–97% • Presisi: 0,044–1,57%
			Hasil: • Kadar Hg: 51,576 – 3886,776 ppm (di atas batas BPOM)
Merkuri (Hg)	Kosmetik (Krim Pemutih)	SSA / AAS (Cold Vapor – FIAS AAS)	Volume sampel: 0,12 g krim. Sampel dimasukkan ke tabung destruksi kemudian ditambahkan 3 mL HNO₃, 1 mL HCl, dan 1 mL H₂O₂. Campuran didiamkan selama 1 jam untuk mencegah bumping. Selanjutnya tabung dimasukkan ke microwave digestion pada suhu 300 °C selama 1 jam sesuai ketentuan daya (400–1200 W tergantung jumlah vessels). Setelah destruksi, larutan didinginkan lalu dipindahkan ke labu ukur 50 mL, diencerkan dengan aquades hingga tanda batas, dan disaring menggunakan kertas Whatman No. 40. Larutan uji dianalisis menggunakan FIAS–AAS (Cold Vapor) pada panjang gelombang 253,7 nm. Kurva baku dibuat dari larutan standar Hg 0–7 µg/mL dengan persamaan garis lurus: $y = 0,00867 + 0,0006x$ dan $R^2 = 0,9996$. Kadar merkuri dihitung dengan rumus: Kadar Hg=(Abs sampel–a) : b Hasil menunjukkan semua sampel mengandung merkuri dengan kadar 136,82 ppb; 40,804 ppb; 155,40 ppb; dan 70,23 ppb, melebihi batas BPOM (0 ppb).
Merkuri (Hg)	Krim Pemutih Wajah Tanpa Izin BPOM	AAS	Preparasi Sampel • Sampel krim pemutih (Sampel A – Skinlight, Sampel B – Citra, Sampel C – Diamond, Sampel D – Special U.V, Sampel E – Esther) ditimbang masing-masing 0,5 g, dimasukkan ke dalam erlenmeyer tutup asah, ditambahkan 7 mL HNO₃ pekat, dipanaskan ±3 jam pada 60 °C, didinginkan, disaring, dan diencerkan dengan aquades hingga 50 mL. Preparasi Merkuri • Larutan standar Hg dibuat pada 20–100 ppb, larutan sampel dan blanko ditambahkan H₂SO₄, HNO₃, KMnO₄, K₂S₂O₈, dan dipanaskan 2 jam pada 95 °C, kemudian dianalisis menggunakan SSA pada 253,7 nm. Sistem Instrumen • Analisis dilakukan dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) menggunakan destruksi asam, dengan kurva kalibrasi persamaan regresi $y = 0,0002x - 0,0003$ ($R^2 = 0,9993$). Hasil Akhir

			• Kadar merkuri terdeteksi masing-masing: – Sampel A (Skinlight) = 0,0045 ppm – Sampel B (Citra) = 0,0065 ppm – Sampel C (Diamond) = 0,0075 ppm – Sampel D (Special U.V) = 0,0080 ppm – Sampel E (Esther) = 0,0095 ppm • Meskipun berada di bawah batas maksimum BPOM (1 ppm), seluruh sampel tidak aman digunakan karena merkuri dilarang dalam kosmetik di Indonesia.
Merkuri (Hg)	Krim Pemutih Wajah	AAS	Preparasi Sampel • Sampel terdiri atas enam produk krim pemutih wajah (krim siang dan krim malam) dari tiga merek berbeda, dibeli secara acak di Pasar Pekanbaru. • Setiap sampel ditimbang 1 g untuk proses analisis dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer. Preparasi Merkuri • Sampel didestruksi dengan menambahkan 5 mL H₂SO₄ pekat, 2,5 mL HNO₃ pekat, dan 15 mL larutan KMnO₄ 5% (ditambahkan lagi jika warna ungu hilang), kemudian ditambahkan 8 mL K₂S₂O₈ 5% dan dipanaskan dalam penangas air selama 2 jam pada 95 °C. • Setelah didinginkan, ditambahkan larutan hidroksilamin-NaCl untuk mereduksi kelebihan KMnO₄, diikuti dengan 5 mL SnCl₂ 10%. • Larutan standar Hg dibuat dari HgCl₂ dan digunakan untuk membuat kurva kalibrasi (R² = 0,9975) untuk perhitungan konsentrasi sampel. Sistem Instrumen • Analisis dilakukan menggunakan SSA-uap dingin Shimadzu tipe AA-6000. Konsentrasi sampel dihitung melalui persamaan kurva kalibrasi. Hasil Akhir • Kadar merkuri terdeteksi pada masing-masing sampel: – Sampel A1 (krim siang) = 0,40 µg/g – Sampel B1 (krim siang) = 2,41 µg/g – Sampel C1 (krim siang) = 0,71 µg/g – Sampel A2 (krim malam) = 0,40 µg/g – Sampel B2 (krim malam) = 4,18 µg/g – Sampel C2 (krim malam) = 1,81 µg/g • Sebagian besar sampel melebihi batas maksimum BPOM (0,5 µg/g), sehingga tidak aman digunakan.
Merkuri (Hg)	Krim Pemutih Wajah	AAS	Preparasi Sampel • Delapan merek krim pemutih wajah diperoleh dari Pasar Karombasan, Manado (1 berizin BPOM dan 7 tidak berizin). • Sebanyak 1 g krim dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 100 mL, didestruksi dengan 10 mL HNO₃ pekat dan 5 mL H₂SO₄ pekat. • Larutan dipanaskan hingga tersisa ±3 mL, didinginkan, ditambahkan 1 mL H₂O₂ 30%, lalu dipanaskan kembali hingga tinggal ±1 mL. • Setelah dingin, larutan diencerkan hingga 50 mL untuk analisis SSA. Preparasi Standar Merkuri

			Dibuat larutan standar Hg dan seluruh absorbansinya diukur untuk menyusun kurva kalibrasi yang digunakan dalam perhitungan kadar sampel.
			Sistem Instrumen Analisis dilakukan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) untuk memastikan keberadaan dan kadar Hg pada masing-masing kosmetik.
			Hasil Akhir - Dari 8 merek, tujuh merek tanpa izin BPOM dinyatakan positif mengandung Hg dengan kadar 0,034–1,803 mg/kg. - Satu merek berizin BPOM menunjukkan hasil negatif. - Produk positif Hg dinyatakan tidak aman karena penggunaan merkuri dilarang dalam kosmetik.
Merkuri (Hg)	Krim Pemutih Wajah Tanpa Izin BPOM	Spektrofotometri Serapan Atom Uap Dingin (SSA – PinAAcle 900F)	Sampel: 7 sampel krim pemutih berbeda (A, B, C, D, E, F, G). Masing-masing sampel ditimbang ± 2 g. Metode: Destruksi basah. Sampel ditambahkan campuran HCl pekat dan HNO₃ pekat (aqua regia, 3:1), dipanaskan hingga hampir kering, ditambah aquades 10 mL, dipanaskan kembali, lalu disaring. Untuk analisis kuantitatif, sampel dilarutkan dengan HNO₃ pekat, diencerkan hingga 100 mL, lalu dipipet dan diencerkan lagi menggunakan HNO₃ 0,1 N hingga diperoleh larutan siap ukur. Selanjutnya sampel dianalisis menggunakan SSA pada panjang gelombang 253,65 nm. Nilai absorbansi sampel dibandingkan dengan kurva kalibrasi Hg standar (0,01–0,03 ppm), dengan persamaan regresi $Y = 0,9747x + 0,0006$ ($R^2 = 0,9966$). Hasil: Dari 7 sampel, yang mengandung Hg positif adalah B (0,1299 ppm), C (0,1822 ppm), dan G (0,0566 ppm).
Merkuri (Hg)	Krim Pemutih Wajah	AAS	Preparasi Sampel - Sepuluh sampel kosmetik dari pasar daring (krim pemutih, hand body lotion, sabun pemutih, dan masker) ditimbang masing-masing 0,5 g. - Sampel didestruksi basah menggunakan 10 mL HNO₃ pekat dan 3 mL H₂O₂ 30%, kemudian dipanaskan hingga jernih. - Setelah dingin, larutan diencerkan dengan akuabides hingga 50 mL untuk analisis SSA. Preparasi Standar Hg dan Cd - Larutan standar Hg dan Cd disiapkan dalam berbagai konsentrasi untuk pembuatan kurva kalibrasi. - Validasi dilakukan melalui penentuan LoD dan LoQ untuk memastikan keandalan analisis. Sistem Instrumen - Analisis logam dilakukan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). - Pengukuran Hg pada 253,7 nm, sedangkan Cd

			diukur pada 228,8 nm.
			Hasil Akhir • Merkuri (Hg): Tiga dari sepuluh sampel positif mengandung Hg, dengan kadar tertinggi pada <i>Sampel A</i> sebesar 2,968 mg/kg. • Kadmium (Cd): Dua sampel positif mengandung Cd, dengan kadar tertinggi pada <i>Sampel F</i> sebesar 0,071 mg/kg. • Kadar Hg tertinggi melampaui batas aman BPOM, sehingga produk tersebut tidak memenuhi ketentuan keamanan kosmetik.
Merkuri (Hg)	Krim pemutih wajah Merek X (Sampel A dan Sampel B)	AAS	Sampel: Dua sampel krim pemutih wajah merek X (kode A dan B). Kualitatif: Pengujian dilakukan menggunakan pereaksi NaOH , HCl , dan KI untuk melihat indikasi perubahan warna atau endapan sebagai tanda adanya Hg. Kuantitatif: Sampel yang positif kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) untuk menentukan kadar merkuri dalam krim. Preparasi sampel dilakukan melalui proses destruksi (penguraian sampel) hingga siap ukur dalam SSA. Hasil : Sampel A: Mengandung Hg. Sampel B: Mengandung Hg. Hasil kuantitatif per pot krim: • Sampel A = 3239,9117 bpM • Sampel B = 858,6798 bpM
Merkuri (Hg)	Krim pemutih wajah	AAS	Preparasi Sampel • Sampel krim pemutih yang dibeli dari pasar daring ditimbang sebanyak 0,5 g. • Sampel krim didestruksi secara basah menggunakan 10 mL HNO₃ pekat dan 3 mL H₂O₂ 30%, kemudian dipanaskan pada hot plate hingga larutan menjadi jernih. • Setelah didinginkan, larutan hasil destruksi diencerkan dengan akuabides hingga volume 50 mL dalam labu ukur untuk analisis dengan SSA. Preparasi Standar Hg dan Cd • Disiapkan larutan standar Hg dan Cd dalam beberapa konsentrasi untuk penyusunan kurva kalibrasi. • Proses validasi metode meliputi penentuan Limit of Detection (LoD) dan Limit of Quantification (LoQ) agar hasil pengukuran pada sampel krim akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Sistem Instrumen • Analisis logam berat dilakukan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). • Pengukuran Hg dilakukan pada panjang gelombang 253,7 nm, sedangkan Cd diukur pada 228,8 nm sesuai karakteristik absorpsi masing-masing logam.

Hasil Akhir

- Merkuri (Hg): Dari sepuluh sampel kosmetik yang diuji, krim pemutih yang teridentifikasi positif mengandung Hg menunjukkan kadar tertinggi 2,968 mg/kg (Sampel A).
- Kadmium (Cd): Pada sampel krim tertentu, Cd juga terdeteksi dengan kadar tertinggi 0,071 mg/kg (Sampel F).
- Kadar Hg tertinggi melampaui batas maksimum BPOM (1 mg/kg), sehingga krim tersebut tidak memenuhi ketentuan keamanan kosmetik dan dikategorikan berbahaya.

Berdasarkan tabel 1, hasil kajian menunjukkan bahwa AAS, termasuk pengembangannya seperti Cold Vapor AAS (CV-AAS) untuk merkuri dan Graphite Furnace AAS (GF-AAS) untuk timbal, banyak digunakan karena memiliki sensitivitas, selektivitas, dan akurasi yang baik terhadap berbagai matriks sampel. Pada sampel biologis, metode CV-AAS dan FI-CV-AAS memberikan batas deteksi yang sangat rendah untuk analisis merkuri, sedangkan GF-AAS efektif untuk penentuan timbal pada konsentrasi jejak. Sementara itu, sebagian besar penelitian pada krim pemutih wajah menunjukkan kandungan merkuri yang melebihi atau tidak memenuhi ketentuan regulasi, meskipun beberapa berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan.

PEMBAHASAN

Spektrofotometri serapan atom bersama dengan teknik-teknik turunannya termasuk dalam kategori metode analisis instrumental utama yang sangat krusial untuk mengukur konsentrasi logam berat dalam contoh biologis seperti darah, urin, rambut, serta ASI, serta dalam lingkungan dan produk yang dikonsumsi. Berbagai inovasi dalam teknologi ini telah diciptakan untuk mengatasi kendala sensitivitas, selektivitas, dan gangguan matriks di AAS yang tradisional, sehingga menghasilkan pendekatan khusus seperti teknik uap dingin untuk merkuri, furnace grafit bagi pengukuran timbal dalam jumlah kecil, hingga kombinasi antara injeksi aliran dan spektrometri massa berplasma yang dapat mencapai ambang deteksi yang sangat rendah dan analisis dari beberapa unsur secara bersamaan.

Tahap preparasi sampel memegang peranan yang sangat penting dalam analisis logam berat karena sangat berpengaruh terhadap tingkat keakuratan dan keabsahan hasil pengukuran. Berdasarkan berbagai kajian pustaka, sebagian besar peneliti menerapkan metode destruksi basah (wet digestion) sebagai langkah awal sebelum analisis menggunakan AAS. Metode ini umumnya melibatkan penggunaan oksidator kuat, seperti asam nitrat (HNO_3) baik secara tunggal maupun dikombinasikan dengan asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), atau hidrogen peroksida (H_2O_2), untuk menguraikan matriks sampel yang bersifat kompleks. Proses destruksi bertujuan untuk memutus ikatan senyawa organologam serta menghilangkan komponen organik, sehingga logam seperti merkuri dan timbal dapat terlepas secara maksimal dari matriksnya. Haura dan Utami (2025) menjelaskan bahwa HNO_3 berfungsi sebagai oksidator kuat yang efektif, terutama dengan bantuan pemanasan, dalam mengubah logam ke bentuk anorganik yang lebih mudah terdeteksi.

Di sisi lain, Deborah et al. (2023) menyatakan bahwa sampel biologis, seperti darah dan jaringan, memiliki karakteristik khusus karena mengandung protein, enzim, dan kadar air yang tinggi, sehingga berpotensi memengaruhi kestabilan analit selama analisis. Oleh karena itu, proses destruksi yang optimal menjadi langkah wajib untuk meminimalkan gangguan matriks yang dapat mengganggu pembacaan absorbansi instrumen. Preparasi yang tidak sempurna berisiko menyebabkan hasil yang tidak akurat, termasuk kemungkinan terjadinya

pembacaan kadar yang lebih rendah dari kondisi sebenarnya. Sebelum dilakukan analisis kuantitatif menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS), beberapa penelitian juga terlebih dahulu melakukan skrining awal melalui uji kualitatif, khususnya pada sampel sediaan kosmetik. Uji ini bertujuan untuk memberikan indikasi awal secara visual terhadap keberadaan logam berat dengan mereaksikan sampel krim menggunakan pereaksi warna, seperti Kalium Iodida (KI) atau Natrium Hidroksida (NaOH). Penelitian yang dilakukan oleh Madania dan Martani (2014) serta Purnomo et al. (2024) menunjukkan bahwa uji kualitatif mampu mendeteksi keberadaan merkuri pada sejumlah sampel secara konsisten, sehingga dapat digunakan sebagai metode skrining yang cepat dan relatif ekonomis.

Namun demikian, meskipun memiliki keunggulan dari sisi kecepatan dan biaya, uji kualitatif memiliki keterbatasan dalam sensitivitas, terutama untuk mendeteksi merkuri pada kadar jejak (trace level). Haura dan Utami (2025) menegaskan bahwa uji warna berpotensi menghasilkan hasil false negative apabila konsentrasi merkuri berada di bawah batas deteksi visual pereaksi, padahal kadar tersebut dapat saja telah melampaui batas aman 1 ppm yang ditetapkan oleh BPOM RI. Keterbatasan ini menjadi semakin penting mengingat temuan Madania dan Martani (2014) yang melaporkan kadar merkuri hingga ribuan part per million (ppm) pada sampel yang sebelumnya terdeteksi positif secara kualitatif. Oleh karena itu, uji kualitatif tidak dapat dijadikan sebagai dasar utama dalam penetapan kadar, melainkan hanya berfungsi sebagai indikasi awal. Setiap hasil positif dari uji kualitatif harus dilanjutkan dengan analisis kuantitatif menggunakan metode yang memiliki akurasi tinggi, seperti Cold Vapor AAS (CV-AAS) untuk merkuri, guna memastikan hasil penetapan kadar yang tepat, akurat, dan tervalidasi, sebagaimana ditekankan oleh Mayasari dan Azita (2023).

Analisis kadar merkuri (Hg) dan timbal (Pb) dalam berbagai contoh biologis seperti darah, rambut, urin, ASI, serta produk krim kecantikan menunjukkan bahwa perbedaan dalam teknik persiapan serta alat analisis sangat berpengaruh terhadap sensitivitas, batas deteksi, dan akurasi hasil pengukuran. Secara konsisten, penelitian yang ditinjau menunjukkan bahwa Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) beserta variasinya seperti Cold Vapour AAS (CV-AAS), Flow Injection CV-AAS (FI-CV-AAS), dan Graphite Furnace AAS (GF-AAS) tetap menjadi metode yang paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan oleh kemudahan dalam penggunaannya, sensitivitas yang cukup baik, serta biaya yang relatif terjangkau, yang juga ditekankan oleh Debora et al. (2023) yang menyatakan kestabilan akurasi dan rendahnya kesalahan pada metode tersebut.

Penelitian mengenai kadar merkuri (Hg) pada kosmetik dan sampel biologis menjadi sangat penting karena didasari oleh mekanisme toksisitasnya yang bekerja secara langsung pada tingkat seluler. Merkuri tergolong sebagai logam berat yang sangat reaktif dan memiliki afinitas tinggi terhadap gugus sulfhidril ($-SH$) pada protein dan enzim esensial dalam tubuh. Ikatan ini menyebabkan gangguan fungsi enzimatik, stres oksidatif, serta kerusakan struktural sel. Deborah et al. (2023) menjelaskan bahwa merkuri, khususnya dalam bentuk organik seperti metilmerkuri, memiliki kemampuan menembus berbagai sawar biologis, termasuk sawar darah-otak (blood-brain barrier) dan plasenta. Akibatnya, paparan merkuri dapat menimbulkan kerusakan permanen pada sistem saraf pusat, ginjal, dan hati. Ketika merkuri melewati plasenta, senyawa ini berpotensi mengganggu perkembangan neurologis janin, sementara ekskresi merkuri melalui ASI menjadi jalur paparan langsung bagi bayi. Dengan demikian, analisis penetapan kadar merkuri pada sampel biologis seperti urin, darah, rambut, dan ASI bukan sekadar aktivitas pengukuran analitis, tetapi merupakan bagian penting dalam deteksi dini risiko paparan internal yang berpotensi menimbulkan dampak kesehatan jangka panjang.

Analisis merkuri pada darah menunjukkan bahwa kadar yang terdeteksi dalam sejumlah penelitian telah melampaui batas aman WHO, yaitu 0,005–0,01 ppm. Temuan Ballesteros (2019) dan Iwan (2020) memperlihatkan bahwa total merkuri (THg) dalam darah responden

berada di atas nilai ambang tersebut, terutama pada individu yang rutin mengonsumsi ikan terkontaminasi atau tinggal di wilayah dengan aktivitas pertambangan. Berbagai metode analisis—seperti CV-AAS, FI-CV-AAS, dan AAS—digunakan dalam pengukuran ini, dengan seluruh teknik mampu mendeteksi Hg pada rentang konsentrasi $\mu\text{g/L}$. Di antara metode tersebut, FI-CV-AAS memberikan performa paling presisi dengan tingkat pemulihan yang mencapai lebih dari 97%, menandakan reliabilitas tinggi dalam menganalisis Hg pada konsentrasi rendah. Peningkatan kadar merkuri dalam darah ini konsisten dengan pola paparan kronis, baik dari konsumsi ikan yang mengalami biomagnifikasi maupun dari kontak lingkungan tambang, selaras dengan penjelasan Debora et al. mengenai hubungan antara pola makan, paparan berkelanjutan, dan akumulasi merkuri dalam tubuh.

Rambut merupakan matriks biologis yang sangat representatif untuk mengevaluasi paparan merkuri jangka panjang. Sebagian besar studi yang direview menunjukkan bahwa kadar Hg pada rambut responden—khususnya pekerja PETI—meskipun sebagian masih berada di bawah batas 1–2 ppm menurut WHO, tetap memperlihatkan adanya akumulasi merkuri yang bermakna. Berbagai metode analisis seperti AAS, CV-AAS, CV-AFS, ICP-MS, dan Mercury Analyzer digunakan dalam penelitian-penelitian tersebut, dengan ICP-MS dan CV-AFS menunjukkan sensitivitas tertinggi melalui limit deteksi yang sangat rendah ($\approx 0,01 \mu\text{g/L}$). Rosmiati (2021) dan Purnawija (2021) melaporkan kadar Hg pada rambut mencapai 0,0312 ppm, sementara beberapa studi lain mencatat nilai median hingga 4,08 $\mu\text{g/g}$, yang berada jauh di atas batas aman WHO. Temuan ini konsisten dengan pernyataan Debora et al. (2023) bahwa rambut merupakan biomarker yang kuat untuk paparan kronis karena sifatnya yang stabil serta kemampuannya mengakumulasi logam berat dari aliran darah dalam periode waktu yang panjang.

Analisis merkuri dalam urin menggunakan AAS maupun CV-AAS umumnya mencerminkan paparan dalam periode akut hingga subakut. Penelitian Karyanah (2013) dan O'Reilly (2020) menunjukkan bahwa individu dengan risiko tinggi, khususnya pekerja yang terlibat dalam proses amalgamasi, dapat memiliki konsentrasi Hg urin mencapai puluhan $\mu\text{g/g}$. Temuan ini menegaskan bahwa urin merupakan matriks yang sensitif untuk mendeteksi peningkatan paparan jangka pendek. Debora et al. (2023) juga menambahkan bahwa biomonitoring berbasis urin memang bersifat lebih temporer dibandingkan darah atau rambut, namun tetap memiliki peran penting dalam mengevaluasi paparan merkuri di lingkungan kerja. Di sisi lain, Analisis merkuri pada ASI menjadi aspek penting dalam penilaian paparan ibu yang dapat berdampak langsung pada bayi. Penelitian oleh O'Reilly (2020) dan Diorgu (2021), yang menggunakan CV-AAS maupun AAS dengan pencernaan asam, menunjukkan bahwa merkuri dapat terdeteksi pada berbagai tingkat konsentrasi, termasuk kadar yang sangat rendah berkat sensitivitas tinggi sistem *cold vapour* dengan LOD mencapai $1 \mu\text{g/L}$. Hasil ini mendukung pernyataan Debora bahwa ASI merupakan salah satu jalur potensial transmisi logam berat kepada bayi, sehingga pemantauan kandungan merkuri dalam ASI, terutama di wilayah yang terpapar aktivitas pertambangan, menjadi langkah penting dalam upaya perlindungan kesehatan ibu dan anak.

Berbagai penelitian mengenai krim pemutih menunjukkan bahwa sebagian besar produk yang diuji masih mengandung merkuri dalam jumlah yang mengkhawatirkan. Purnomo et al. (2024) melaporkan kadar Hg berkisar 24,05–38,74 mg/L , sedangkan Anggraeni et al. (2018) menemukan rentang yang jauh lebih tinggi, yaitu 51.576 hingga 3.886 ppm. Produk ilegal lainnya juga dilaporkan mengandung merkuri pada tingkat 40–155 ppb hingga 1,803 mg/kg . Temuan ini bukan hanya melampaui batas aman yang ditetapkan BPOM ($\leq 1 \text{ ppm}$), tetapi juga menimbulkan risiko toksisitas akut maupun kronis. Metode AAS dengan sistem *cold vapour* menjadi teknik yang paling sensitif, terutama untuk mendeteksi kadar merkuri yang sangat rendah ($\leq 0,1 \mu\text{g/kg}$), seperti ditunjukkan dalam penelitian Mayasari & Azita (2023). Selain itu, Debora et al. (2023) menegaskan bahwa merkuri dalam kosmetik merupakan salah

satu sumber paparan non-lingkungan yang paling berbahaya karena masuk langsung melalui kulit dan dapat menyebabkan akumulasi sistemik yang membahayakan kesehatan.

Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) merupakan teknik analisis logam yang bekerja dengan mengubah sampel menjadi atom netral, kemudian mengukur serapannya pada panjang gelombang tertentu; metode ini sederhana, relatif murah, selektif untuk unsur tertentu, dan ideal untuk pengukuran kadar logam pada level ppm, meskipun batas deteksinya masih lebih tinggi dibanding metode uap dingin sehingga kurang sensitif untuk konsentrasi sangat rendah. Dalam praktiknya, AAS konvensional banyak digunakan untuk analisis logam dalam darah dan rambut pada rentang ppb–ppm, namun ketika kadar logam berada pada tingkat jejak diperlukan pengembangan teknik yang lebih peka. Salah satu pengembangan utama adalah Cold Vapour AAS (CV-AAS) yang dirancang khusus untuk analisis merkuri (Hg) dengan mereduksi ion Hg menjadi uap Hg⁰ menggunakan reduktor seperti NaBH₄ atau SnCl₂, sehingga tercapai batas deteksi sangat rendah (sekitar 0,01–0,5 µg/L) dengan preparasi sampel yang lebih praktis dan selektivitas tinggi untuk berbagai matriks seperti darah, urin, ASI, dan kosmetik. Sensitivitas CV-AAS kemudian ditingkatkan lagi melalui FI-CV-AAS (Flow Injection CV-AAS) yang memanfaatkan sistem injeksi aliran; pendekatan ini memungkinkan pemulihan melebihi 97%, menurunkan batas deteksi hingga sekitar 0,03 µg/L, serta mempercepat dan menstabilkan proses analisis, sehingga sangat sesuai untuk sampel darah yang kaya protein dan komponen matriks pengganggu.

Untuk logam berat lain, khususnya timbal (Pb) yang menjadi fokus perbandingan dalam tinjauan ini, digunakan GFAAS (Graphite Furnace AAS) yang mengatomisasi logam dalam furnace grafit bersuhu hingga sekitar 3000 °C, memberikan sensitivitas jauh lebih tinggi dibanding AAS nyala dan memungkinkan pengukuran pada kisaran ppb, misalnya LOD sekitar 4,15 µg/L dan LOQ 12,59 µg/L untuk Pb darah. Metode ini sangat penting karena mampu mendeteksi konsentrasi Timbal pada level sangat rendah (ultra-trace) dan menekan gangguan matriks dalam sampel biologis yang kompleks, termasuk darah dan urin. Selain menggunakan metode AAS, sensitivitas analisis logam berat pada matriks biologis dan lingkungan dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan ICPMS (Spektrometri Massa Plasma Terinduksi) yang menawarkan batas deteksi hingga tingkat ng/L, kemampuan analisis multiunsur secara simultan, serta interferensi yang minimal, walaupun pemanfaatannya di studi lapangan sering dibatasi oleh biaya dan fasilitas. Melengkapi pendekatan tersebut, beberapa studi rambut menggunakan instrumen khusus NIC MA3000 yang melakukan analisis merkuri langsung tanpa destruksi basah, sehingga deteksi berlangsung cepat dalam satu platform otomatis, meminimalkan kehilangan analit maupun kontaminasi, dan memungkinkan karakterisasi paparan kronis melalui kadar merkuri rambut pekerja tambang yang dilaporkan berada pada kisaran 1,01–2,38 mg/kg.

KESIMPULAN

Analisis berbagai penelitian mengenai merkuri (Hg) dan timbal (Pb) dalam sampel biologis maupun kosmetik menunjukkan bahwa Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) beserta teknik turunannya—termasuk Cold Vapour AAS (CV-AAS), Flow Injection CV-AAS (FI-CV-AAS), dan Graphite Furnace AAS (GF-AAS)—memiliki peran sangat penting dalam deteksi logam berat karena menawarkan sensitivitas, selektivitas, serta kemampuan analisis pada level jejak yang tidak dapat dicapai oleh AAS konvensional. Keberhasilan analisis sangat ditentukan oleh tahap preparasi sampel, terutama metode destruksi basah menggunakan HNO₃, H₂SO₄, HCl, atau H₂O₂ yang efektif memecah matriks organik dan melepaskan logam agar dapat terukur dengan akurat. Meskipun beberapa penelitian menggunakan uji kualitatif pereaksi warna sebagai skrining awal untuk mendeteksi

keberadaan merkuri pada kosmetik, teknik tersebut tidak dapat menggantikan analisis kuantitatif karena rentan menghasilkan false negative pada kadar rendah.

Secara keseluruhan, hasil dari berbagai studi menunjukkan bahwa kadar merkuri dalam darah, urin, rambut, ASI, serta krim pemutih sering kali melampaui batas aman WHO dan BPOM, terutama pada masyarakat yang terpapar aktivitas pertambangan atau menggunakan produk ilegal. Paparan tersebut berpotensi menimbulkan gangguan fungsi enzim, stres oksidatif, kerusakan sistem saraf, hingga dampak serius pada perkembangan janin karena kemampuan merkuri menembus sawar darah-otak dan plasenta. Oleh karena itu, metode analitis yang sensitif, preparasi sampel yang optimal, serta pengawasan ketat terhadap produk kosmetik dan lingkungan menjadi langkah penting dalam upaya pencegahan risiko toksisitas logam berat dan perlindungan kesehatan masyarakat secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT berkat nikmat, dan karunia-Nya penulis dan rekan-rekan dapat menyelesaikan penelitian ini. Semua penulis mengucapkan terimakasih kepada dosen-dosen pembimbing yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan selama penelitian. Dan penulis ucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, V. J., Yuliantini, A., & Rahmawati, F. (2018). Analisis cemaran logam berat merkuri dalam krim pemutih wajah yang beredar di pasar tradisional dengan metode spektrofotometri serapan atom. *Journal of Pharmacopolium*, 1(1), 44-50. <https://doi.org/10.36465/jop.v1i1.395>
- Ballesteros, L.M. T., García Barrado, B., Navarro Serrano, I., Izquierdo Álvarez, S., del Pueyo García Anaya, M., & González Muñoz, M. J. (2020). Evaluation of blood mercury and serum selenium levels in the pregnant population of the Community of Madrid, Spain. *Journal of Trace Elements Medicine and Biology*, 57, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.09.008>
- Bose-O'Reilly, S., Lettmeier, B., Shoko, D., Roider, G., Drasch, G., & Siebert, U. (2020). Infants and Mothers levels of mercury in breast milk, urine and hair, data from an artisanal and small-scale gold mining area in Kadoma / Zimbabwe. *Environmental Research*, 184, 109266. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109266>
- Chakti, A. S., Simaremare, E. S., & Pratiwi, R. D. (2019). Analisis merkuri dan hidrokuinon pada krim pemutih yang beredar di Jayapura. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 8(1), 1–8.
- Debora, P. C., Hidayat, S., Ryandha, M. G., Utami, M. R., & Nurfadhila, L. (2023). Comparison of Analysis Methods of Compound Levels and Mercury (Hg) Toxicity in Biological Samples. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 863-875.
- Desimal, I. (2018). Hubungan Pertambangan Emas Dengan Kadar Merkuri Dalam Rambut Penambang Di Desa Kedaro Sekotong Lombok Barat. *Jurnal Sangkareng Mataram*, 4(1), 56–59. <http://www.untb.ac.id/maret-2018/>
- Haerani, A., Aeni, S. R. N., & Andini, S. N. (2022). Identifikasi kandungan merkuri (Hg) pada krim pemutih wajah yang dijual di Pasar Andir dengan metode spektrofotometri serapan atom (SSA). *Pharma Xplore: Jurnal Sains Dan Ilmu Farmasi*, 7(1), 1-10.
- Haura, I., & Utami, M. R. (2025). Analisis Kualitatif Dan Kuantitatif Merkuri Dan Timbal Pada Sediaan Krim Dan Body Lotion Pemutih Dengan Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). 20(1), 150–162.

- Iwan, P. A., & Niken, P. (2020). Pengaruh Paparan Merkuri Dari Bahan Makanan Terhadap Kandungan Merkuri Dalam Darah Ibu Menyusui di Daerah Pertambangan Emas. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 12(1), 224–235.
- Karim, B. K., Amalia, E., Studi, P., Apoteker, P., Farmasi, F., & Padjadjaran, U. (2025). *Article Review : Analisis Kadar Merkuri pada Sediaan Kosmetik Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom*. 79–92.
- Mayasari, D., & Azita, G. S. (2023). *Analisis kadar merkuri (Hg) dalam produk krim pemutih wajah*. *JIKA: Jurnal Ilmu Kesehatan Abdurrah*, 1(1), 29–39.
- Mona, R. K., Pontoh, J., & Yamlean, P. V. Y. (2018). Analisis kandungan merkuri (Hg) pada beberapa krim pemutih wajah tanpa izin BPOM yang beredar di Pasar 45 Manado. *PHARMACON: Jurnal Ilmiah Farmasi – UNSRAT*, 7(3), 292–301.
- Ningrum, J. A., Fane, E. R., & Andhini, N. (2025). *Analisis kadar logam merkuri dalam kosmetik menggunakan metode spektroskopi serapan atom (SSA)*. *Hypothesis: Multidisciplinary Journal of Social Sciences*, 4(1), 39–47. <https://doi.org/10.62668/hypothesis.v4i01.1431>
- Pridianata, E. V., Tualeka, R. A., Lain, B., Rahmawati, P., Russeng, S. S., & Wahyu, A. (2019). Determination of Dosage Reference (RfD) of Mercury Based on NOAEL and characteristics of Workers in the Area of Unlicensed Gold Mining (PETI) Maluku Province Indonesia. In 1170 *Indian Journal of Public Health Research & Development*. 10(9), 1170–1175.
- Purnomo, F. O., Waluyo, D. A., Larasati, D. A., Habibillah, Y. R., Widiyawati, D., & Lestari, P. A. (2024). Analisis Kadar Merkuri pada Krim Pencerah Wajah Menggunakan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 5(4), 11076–11084.
- Rahman, H., Wilantika, I., & Latief, M. (2019). Analisis Kandungan Merkuri pada Krim Pemutih Ilegal di Kecamatan Pasar Kota Jambi Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *PHARMACY: Jurnal Farmasi Indonesia (Pharmaceutical Journal of Indonesia)*, 16(1), 59–73.
- 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*, 4(2), 90–98.
- Samaniyah, S., Meilina, R., Fitria, F., Asyura, S., & Mutiawati, M. (2025). ANALISIS KADAR MERKURI (HG) KRIM PEMUTIH WAJAH MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM (SSA) DI KOTA BANDA ACEH. *JOURNAL OF HEALTHCARE TECHNOLOGY AND MEDICINE*, 11(1), 323–330.
- Shirkhanloo, H., Khaligh, A., Mousavi, H. Z., Eskandari, M. M., & Miran-Beigi, A. A. (2015). Ultra-trace arsenic and mercury speciation and determination in blood samples by ionic liquid-based dispersive liquid–liquid microextraction combined with flow injection-hydride generation/cold vapor atomic absorption spectroscopy. *Chemical Papers*, 69(6), 779–790. <https://doi.org/10.1515/chempap-2015-0086>
- Wahab, N., Amin, I. I., & Prasetya, D. (2024). Analysis of Au, Ag, Pb, Zn Levels in Soil Samples Using the Atomic Absorption Spectroscopy Method. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 24–32.
- Wulandari, D. D., Andini, A., & Puspitasari, A. (2018). Penentuan kadar logam berat merkuri (Hg) dan cadmium (Cd) dalam kosmetik dengan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). *Medicra (Journal of Medical Laboratory Science/Technology)*, 1(2), 103–110. <http://doi.org/10.21070/medicra.v1i2.1830>
- Zaharani, F., & Salami, I. R. S. (2015). Kandungan Merkuri Pada Urin Dan Rambut Sebagai Indikasi Paparan Merkuri Terhadap Pekerja Tambang Emas Tanpa Izin (Peti) Di Desa Pasar Terusan Kecamatan Muara Bulian Kabupaten Batanghari–Jambi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(2), 169–179.