



Comparison of Analysis Methods of Compound Levels and Mercury (Hg) Toxicity in Biological Samples

Perbandingan Metode Analisis Kadar Senyawa dan Toksisitas Merkuri (Hg) dalam Sampel Biologis

Priscinya Christiana Debora¹⁾, Sofianti Hidayat¹⁾, Mochamad Galuh Ryandha¹⁾, Marsah Rahmawati Utami¹⁾, Lina Nurfadhila¹⁾

¹⁾Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang Jawa Barat, Indonesia.

e-mail author : 2010631210031@student.unsika.ac.id

ABSTRACT

Mercury or mercury (Hg) is a type of metal as an organic and inorganic compound that can be found in nature and is spread in rocks, ores, soil, water and air. Mercury in the body can be detected in biological materials such as urine, blood, breast milk and hair. This study aims to analyze the content and toxicity of mercury (Hg) in biological samples such as blood, hair, urine and breast milk with various analytical methods including CV-AAS, AAS, CV-AFS, ICP-MS, FI-CV-AAS, and Mercury Analyzers. Data collection was based on the Literature Review by collecting several published research journals both at national and international levels which were filtered according to inclusion and exclusion criteria using the PRISMA method (Preferred Reporting Item for Systematic Review and Meta-Analysis). The method used depends on the needs of the analysis, its sensitivity and availability. Of the several methods used, AAS or atomic absorption spectrophotometry is the most commonly used method, because this method is simple and considered fast for analyzing mercury levels in biological samples.

Keywords: Mercury; analysis; blood; urine; hair; breast milk.

ABSTRAK

Merkuri atau raksa (Hg) adalah jenis logam sebagai senyawa organik dan anorganik yang bisa ditemukan di alam dan tersebar dalam batu-batuan, biji tambang, tanah, air, dan udara. Merkuri di dalam tubuh dapat terdeteksi dalam bahan biologis seperti urin, darah, air susu ibu dan rambut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan dan toksisitas merkuri (Hg) dalam sampel biologi seperti darah, rambut, urin dan ASI dengan berbagai metode analisis diantaranya dengan metode CV-AAS, AAS, CV-AFS, ICP-MS, FI-CV-AAS, dan Mercury Analyzer. Pengambilan data berdasarkan *Literature Review* dengan mengumpulkan beberapa jurnal penelitian yang telah dipublikasikan baik di tingkat nasional maupun internasional yang disaring sesuai kriteria inklusi dan eksklusi dengan metode PRISMA (*Preferred Reporting Item for Systematic Review and Meta-Analysis*). Metode yang digunakan tergantung pada kebutuhan analisis, sensitivitas, dan ketersediaannya. Dari beberapa metode yang digunakan, AAS atau spektrofotometri penyerapan atom merupakan metode yang paling umum digunakan, karena metode ini sederhana dan dinilai cepat untuk menganalisis kadar merkuri pada sampel biologis.

Kata kunci: Merkuri; analisis; darah; urin; rambut; air susu ibu.

PENDAHULUAN

Merkuri atau raksa (Hg) adalah jenis logam sebagai senyawa organik dan anorganik yang bisa ditemukan di alam dan tersebar dalam batu-batuan, biji tambang, tanah, air, dan udara (BPOM,2004). Merkuri juga satu-satunya logam yang ada dalam keadaan agregat cair dalam kondisi standar dan menguap saat bersentuhan dengan udara. Merkuri mengandung unsur kimia dengan warna perak abu-abu. Menurut *official European Union directive*, merkuri dikategorikan sebagai ancaman terhadap ekosistem perairan, beracun jika terhirup dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Menurut WHO, merkuri adalah unsur logam yang terbentuk secara alami dan diklasifikasikan menjadi 3 kelompok utama yaitu cair dan gas, merkuri anorganik seperti merkuri klorida, merkuri asetat, merkuri sulfida, dan 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. (Hasyimi, et al, 2014).

Tujuan penulisan review jurnal ini yaitu untuk menganalisis kandungan dan toksisitas merkuri (Hg) dalam sampel biologi seperti darah dan rambut. Merkuri di dalam tubuh dapat terdeteksi dalam bahan biologis seperti urin atau darah, namun karena spesifitas yang bervariasi untuk berbagai bentuk Hg, bahan lain cocok untuk pengukuran, seperti rambut. Menurut WHO, rambut adalah media untuk menandakan seseorang yang keracunan logam merkuri karena rambut dapat mengumpulkan berbagai logam berat, sehingga dapat menandakan tingkat pencemaran merkuri yang terdapat didalam tubuh manusia yang terpapar oleh logam merkuri. Indikator keracunan

logam merkuri dapat terlihat dengan membandingkan kadar merkuri pada rambut menurut WHO yang menyatakan bahwa kadar normal dari merkuri dalam rambut berkisar antara 1-2 mg/kg atau 1-2 ppm (Junita, N.R., 2013).

Penggunaan merkuri oleh penambang emas digunakan untuk memisahkan butir emas dan butir batuan. Merkuri banyak tersebar di berbagai tempat seperti air, udara, tanah dan organisme yang hidup disekitar pertambangan. Merkuri juga dapat meracuni hewan, tumbuhan dan mikroba. Limbah yang mengandung merkuri pada saat pencucian logam emas dapat tercecer ke area pengolahan sehingga dapat mencemari lingkungan sekitar. Begitu pula saat pembakaran, uap merkuri yang dihasilkan oleh kegiatan tersebut dapat mencemari udara lalu mengendap di permukaan tanah (Junita, N.R., 2013). Pencemaran merkuri dapat berakibat merugikan bagi manusia karena pajanannya dalam jangka panjang menyebabkan penyakit hingga kematian. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan tinjauan literatur untuk menganalisis kadar merkuri yang terdapat dalam sampel biologis berupa darah, rambut, urin, dan air susu ibu.

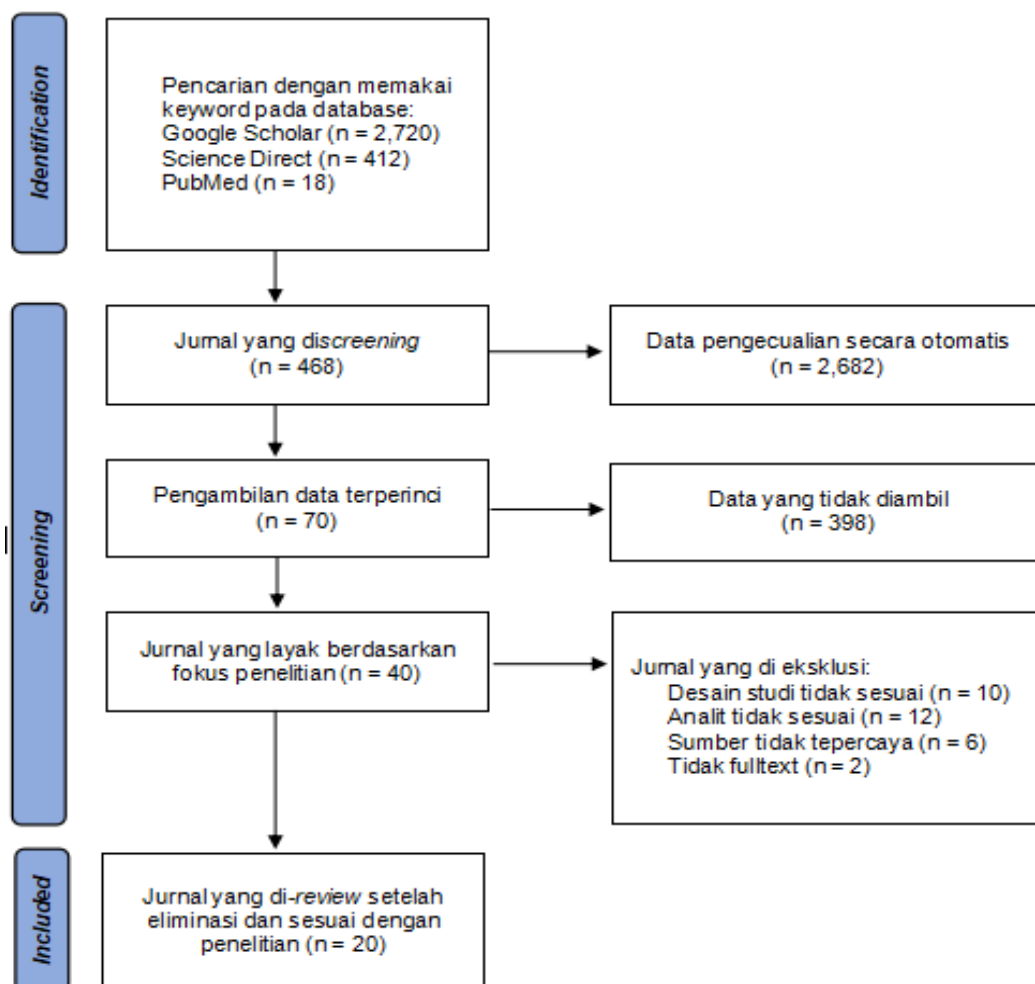
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan pendekatan kualitatif non-eksperimental bersifat deskriptif untuk mengidentifikasi kandungan senyawa merkuri (Hg) dan tingkat toksisitasnya dalam sampel biologis. Data penelitian diperoleh secara retrospektif kemudian dianalisis secara deskriptif menggunakan sistem *literature review* dengan mengumpulkan beberapa jurnal atau artikel penelitian yang telah dipublikasikan baik di tingkat nasional maupun internasional. Sumber referensi diperoleh melalui pencarian pada situs daring diantaranya Google scholar, PubMed, dan Science Direct dengan menggunakan laman pencarian dan kata kunci seperti "*Analysis*"; "*Toxicity*"; "*Mercury*" dan "*Biological Samples*". Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi artikel ilmiah dan publikasi jurnal dalam kurun waktu 10 tahun terakhir yaitu tahun 2013 sampai dengan 2023, fokus penelitian adalah untuk menganalisis kandungan dan toksisitas merkuri (Hg) dalam sampel biologi, jurnal yang dipilih harus tersedia dalam bahasa Indonesia atau Inggris dan dapat diakses secara bebas, tanpa batasan akses. Kriteria eksklusi dalam penelitian ini

meliputi penelitian yang tidak relevan dengan judul, sumber yang tidak dapat dipercaya, dan artikel berupa korespondensi atau abstrak yang tidak memenuhi persyaratan.

Pemilihan sumber dan data penelitian berdasarkan metode PRISMA (*Preferred Reporting*

Item for Systematic Review and Meta-Analysis) untuk melakukan analisis sistematis dan meta-analisis. Berikut adalah diagram yang menggambarkan langkah-langkah metode PRISMA yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 1. Diagram metode PRISMA

HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini membahas mengenai tinjauan literatur analisis kadar senyawa dan toksisitas merkuri (Hg) dalam sampel biologis. Berdasarkan metode penelitian, didapatkan 20 jurnal yang telah diseleksi dan disaring secara kritis yang membahas topik penelitian sesuai dengan judul mengenai analisis kadar senyawa dan toksisitas merkuri dalam sampel biologis. Dalam bioanalisis, sampel biologis atau spesimen merupakan bahan yang berasal dari manusia seperti darah dan fraksi darah

(plasma, serum, sel darah merah), jaringan dan organ (dari operasi, autopsi, atau transplantasi), urin, saliva/air liur, DNA/RNA, rambut, dan berbagai tipe spesimen yang dapat diambil untuk penelitian atau diagnosis (Mestria, S., et al. 2021).

Merkuri (Hg) adalah zat polutan dan racun lingkungan yang tersebar di berbagai tempat. Efek toksik merkuri yang dikenakan pada manusia dan organisme lain bergantung pada banyak faktor termasuk bentuk kimia, jumlah, jalur paparan, dan perbedaan kerentanan antara subjek yang terpapar (Rice et al., 2014). Paparan merkuri pada manusia

dapat terjadi melalui berbagai jalur termasuk konsumsi bahan makanan (misalnya, ikan), penggunaan pekerjaan dan rumah tangga, amalgam gigi, dan vaksin yang mengandung merkuri. Selain itu juga penggunaan yang meluas dalam industri, pelepasan kontinyu dari pembakaran bahan bakar fosil, kegiatan pertambangan, pabrik insinerasi, serta sumber alami seperti kerak bumi dan gunung berapi dapat menyebabkan toksisitas (Adhani, R., 2017).

Paparan merkuri dalam jangka panjang dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius karena toksisitasnya dari ringan hingga mengancam jiwa. Sifat merkuri mudah terdifusi dan mampu melewati membran sel serta penghalang darah-otak untuk mencapai target. Pada paparan tingkat rendah, gejala non spesifik muncul seperti anoreksia, penurunan berat badan, kelemahan, kelelahan, dan sakit kepala. Pada paparan tingkat tinggi, banyak gejala klinis termasuk fasikulasi otot, polineuropati dengan perubahan neuromuskular pada elektromiografi, tes Romberg yang abnormal, dysdiadochokinesia, dan kesulitan berjalan dari tumit ke kaki. Gangguan kognitif juga telah dilaporkan, dengan perubahan perilaku dan kepribadian, konsentrasi yang buruk, emosi yang labil, kehilangan memori, depresi, insomnia, delirium dan halusinasi (Malek, A., 2017).

Analisis merkuri dalam sampel biologis harus dilakukan secara tepat dengan minimum kesalahan yang terjadi. Hal ini dilakukan agar meminimalisir adanya kontaminasi dari analit dan matriks ke seseorang. Metode analisis merkuri dalam sampel biologis dapat dilakukan dengan berbagai cara

dengan keunggulannya masing-masing, salah satu pendekatan yang umum digunakan yaitu melalui Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). AAS membutuhkan atom atau uap merkuri untuk dihasilkan dan diukur konsentrasinya. Metode deteksi lain seperti CV-AFS, yang memanfaatkan penyerapan sinar ultraviolet dan ICP-MS untuk mengukur isotop merkuri serta memberikan hasil analisis yang lebih tepat (Iwai-Shimada, M., et al 2021; Astolfi, M.L., 2019)

Sebelum melakukan analisis terhadap sampel, langkah pra-analisis preparasi sampel harus dilakukan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan agar metode analisis dapat mengoptimalkan prosedur analisis. Preparasi sampel dalam analisis merupakan tahapan penting terutama pada sampel biologis karena merupakan sampel yang kompleks dengan mengandung beberapa komponen seperti air, protein, senyawa endogen, dan beberapa enzim yang dapat mempengaruhi stabilitas dari analit selama proses analisis (Sholihah, S., 2021). Proses ini melibatkan isolasi analit dari matriks dan harus mampu mengurangi dampak dari matriks sambil tetap mempertahankan *recovery* analit yang akan dianalisis. Rentang *recovery* yang dapat diterima pada pengujian bioanalisis yaitu 85-115% (EMA, 2019). Metode preparasi sampel untuk analisis merkuri dapat dilakukan dengan berbagai metode, termasuk *Solid-Phase Extraction* (SPE), *ionic liquid-based dispersive liquid-liquid microextraction* (IL-DLLME), *electromembrane extraction, microextraction*, dan *liquid-liquid extraction* (LLE) (Mostafavi, S.M. dan Ebrahimi, A., 2019).

Tabel 1. Metode analisis Merkuri (Hg) dalam sampel biologis

Analit	Sampel	Metode	Sistem	Referensi
Merkuri (Hg)	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	(Ballesteros, M., 2019)

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%	(Shirkhanloo, H., 2015)
Merkuri (Hg)	Darah	ICP-MS	Metode: darah dicampur dengan Li-Heparin dalam tabung lalu disentrifugasi selama 10 menit. Plasma supernatan dihilangkan dan 500 µL konsentrat eritrosit dicuci dua kali dengan larutan NaCl 0,9% dalam air untuk menghilangkan residu plasma. Untuk menyelidiki interaksi MeHg, hemosilat diencerkan 1:1000 (v/V) dengan larutan inkubasi fisiologis dan dibubuhi konsentrasi MeHg akhir 50 µmol/L.	(Hogeback, 2015)
Merkuri (Hg)	Darah	GC-CV-AFS	Volume sampel: DBS 40 µL Metode: DBS sampel dicuci dengan HCl 10% di dalam 4,5 mL polypropylene tube yang berisi 600 µL larutan HNO ₂ 4 M dan 0,02% M L-Cysteine. Diletakan pada oven 60C selama 24 jam. Selanjutnya, subsampel (300 µL) dari digest yang didinginkan ditambahkan ke bejana kaca borosilikat dengan air ultra murni, disesuaikan dengan pH 4,0–4,5 menggunakan buffer sitrat dan dietilasi menggunakan 1% natrium tetraetil borat (NaBEt ₄) Recovery: 92%	(Santa-Rios, A., 2020)
Merkuri (Hg)	Darah	AAS	Volume Sampel: 0,1 mL Metode: masukan sampel dalam 12 mL polipropilen ditambahkan 3,2 mL larutan H ₂ SO ₄ , diamkan selama 20 menit. Ditambahkan 4 mL H ₂ O dan 0,4 mL KMnO ₄ 5%, panaskan pada suhu 50C 30 menit. Sampel didinginkan dan ditambahkan 0,5 mL campuran NaCl dan (NH ₂ OH) ₂ •H ₂ SO ₄ 12%:12%. Kemudian, sampel dilarutkan dengan 1:6 asam hidroklorat 2%. Hasil: 74,3% kandungan merkuri >0,01 ppm	(Iwan, P.A., 2020)

Merkuri (Hg)	Rambut	CV-AAS	Sampel: 20 mg rambut Metode: Sampel ditambahkan pada HNO ₃ :H ₂ O ₂ 5:1 di dalam tabung polietilen (PET). Dipanaskan pada microwave pada suhu 20C selama 30 menit. Kemudian diencerkan dengan DW hingga 10 mL dicampur dengan reagen pereduksi (NaBH ₄ /NaOH) di mixer.	(Soleymani, D., 2020)
Merkuri (Hg)	Rambut	CV-AFS	Sampel: 15 - 30 mg rambut Metode: Sampel dicampur dengan 0,5 mL HNO ₃ 67% dan 0,25 mL H ₂ O ₂ 30%. Dipanaskan diatas waterbath selama 20 menit pada suhu 95°C. LOD: 0,01 µL L-1 dan 0,02 µL L-1	(Astolfi, M.L., 2019)
Merkuri (Hg)	Rambut	ICP-MS	Sampel: 1 mg rambut Metode: sampel dimasukkan pada tabung PTFE lalu ditambahkan HNO ₃ dan agar busa yang muncul dapat menghilang dibiarkan selama 20 menit. Kemudian tabung PTFE tadi dimasukkan dalam microwave MDS-2000 serta sampel dihancurkan selama 20 menit. Selanjutnya sampel didinginkan pada suhu kamar lalu dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL. Dilarutkan dengan 50 mL air deionisasi pada sampel tersebut. Hasil: konsentrasi total Hg rata-rata tertinggi yaitu 48,30 ± 22,29 µg/g dan terendah ialah 11,20 ± 4,02 µg/g. Sebanyak 90,28% dari keseluruhan responden di empat lokasi penelitian mengandung Hg di dalam rambut kepala dengan nilai di atas ambang batas yang ditetapkan oleh WHO yaitu 10 µg/g.	(Sofia & Husodo A. H., 2016)

Merkuri (Hg)	Rambut	Mercury Analyzer	<p>Sampel: 1 gram rambut</p> <p>Metode: Diberi label pada plastik untuk menyimpan sampel yang akan identifikasi. Erlenmeyer berukuran 100 mL di isi sampel tersebut, lalu, ditambahkan 10 mL HNO₃ dan HClO₄ dengan perbandingan 1:1. Campuran sampel dan reagen asam tersebut dipanaskan diatas hotplate. Pemanasan dilakukan hingga larutan menjadi jernih dan mengeluarkan asap putih. Setelah itu, larutan hasil pemanasan tersebut disaring untuk memisahkan partikel-partikel padat yang tidak larut. Larutan hasil penyaringan pindahkan ke dalam labu ukur berukuran 50 mL. Larutan tersebut ditambahkan aquades (air murni) hingga mencapai tanda batas pada labu ukur. Setelah proses tersebut, dilakukan analisis untuk menentukan kadar Hg (merkuri) dalam sampel.</p> <p>Hasil : Rambut penambang emas di desa Alue Baro, kecamatan Meukek, memiliki kadar Hg berkisar antara 1,01 - 2,08 mg/kg. Sampel lain sebagai pembanding yang digunakan memiliki kadar Hg 0,64 ppm.</p>	(Nasir M et all., 2021)
Merkuri (Hg)	Rambut	Mercury Analyzer	<p>Sampel: Rambut 0,5-1 gram</p> <p>Metode: Menggunakan alat Mercury Analyzer NIC MA-3000 pada analisis Hg di rambut kepala.</p>	(Musafira., Rasul E., 2022)
Merkuri (Hg)	Rambut	AAS	<p>Sampel: rambut 50-100 gram</p> <p>Metode: Sampel diujikan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).</p>	(Desimal i., 2018)
Merkuri (Hg)	Urin	AAS	<p>Sampel: 20 urin yang berbeda.</p> <p>Metode: Pengukuran dilakukan menggunakan alat AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) pada semua kontrol dan sampel perlakuan di TrasLab Jakarta.</p>	(Karyanah Y., 2013)
Merkuri (Hg)	Urin	CV-AAS	<p>Sampel: urin</p> <p>Metode: dianalisis merkuri total dengan CV-AAS (PerkinElmer, Spektrometer 1100B dengan MHS 20 dan unit amalgamasi), menggunakan natriumborohidrida (NaBH₄) untuk reduksi.</p>	(O'Reilly, S.B., et all 2020)

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.	(O'Reilly, S.B., et al 2020)
Merkuri (Hg)	ASI	AAS	Sampel: ASI 25 mL Metode: sampel susu dicerna dalam unit pencernaan kaca semi tertutup menggunakan 7 mL HNO ₃ (Merck, Deutschland) dan 7 mL hidrogen peroksida 30% (Merck, H ₂ O ₂). Volume disesuaikan dengan ddH ₂ O 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.	(Diorgu, I., et all 2021)

Analisis Merkuri dalam Darah

Paparan merkuri dalam darah dapat disebabkan karena adanya cemaran dalam makanan, terutama makanan laut. Ketika terdapat cemaran merkuri, bentuk organik merkuri dikombinasikan dengan senyawa yang mengandung karbon akan diserap dan diproduksi oleh mikroorganisme di air dan tanah membentuk metil merkuri (MeHg) dan akan terakumulasi dalam ikan (Al-Sulaiti, M.M., 2022). Menurut US EPA, dosis maksimum atau maximum acceptable daily exposure senyawa merkuri yang diizinkan masuk dalam tubuh tanpa menimbulkan efek berbahaya yaitu 0,1 µg/kg BB per hari (Aprianne,D., 2014). Menurut WHO, dosis maksimum merkuri dalam darah yang aman yaitu diantara 5-10 µg/mL atau 0,005-0,01 ppm (WHO, 1990).

Dalam penelitian oleh Ballesteros (2019) yang dilakukan pada ibu hamil di Spanyol, memberikan hasil kadar merkuri total (THg) yang tinggi yaitu diatas 3,8 µg/L (Angka yang disarankan oleh beberapa peneliti untuk ibu hamil). Hal ini dikarenakan ibu hamil mengonsumsi 1-2 porsi ikan atau kerang per minggu (Ballesteros, M., 2019). Penelitian lain juga dilakukan oleh Iwan dan Niken (2020) kepada ibu menyusui di lokasi pertambangan emas di Cineam, Tasikmalaya,

dengan hasil yang sama yaitu kandungan merkuri dalam darah diatas batas normal menurut WHO. Hal ini dikarenakan adanya paparan merkuri yang tinggi dalam tanaman pangan dan ikan yang dikonsumsi (Iwan, P.A., 2020). Pola konsumsi makanan laut yang tinggi dapat disebabkan karena daerah pemukiman pesisir. Penelitian oleh Kim, S.A. (2016), menyebutkan bahwa subyek yang tinggal di daerah pesisir memiliki nilai konsentrasi merkuri yang lebih besar (4,36 µg/L) dibandingkan subyek yang tinggal di perkotaan (2,98 µg/L) dan pedesaan (2,59 µg/L).

Penelitian oleh Santa-Rios (2020) juga dilakukan dengan menganalisis kadar merkuri dalam sampel Dried Blood Spot (DBS) bayi baru lahir dengan menggunakan GC-CVAFS. Penelitian ini dilakukan untuk memvalidasi DBS sebagai jenis sampel yang digunakan untuk menganalisis kadar merkuri dalam darah Santa-Rios, A., 2020). Metode lain yang dapat dilakukan untuk analisis kadar merkuri dalam darah juga dapat menggunakan FI-CV-AAS dengan *tetraethylthiuram disulfide* (TETD) sebagai agen pengkelat. Metode ini lebih sederhana, cepat, murah, dan hasil yang tepat untuk menganalisis kadar merkuri dalam darah (Shirkhanloo, H., 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Hogeback (2015) dengan menggunakan ICP-

MS. ICP-MS merupakan suatu instrumen analitik yang kuat untuk memberikan data lebih baik. Metode ini menguraikan sampel menjadi elemen penyusunnya dan mengubah elemen tersebut menjadi ion untuk diukur (Wang, M.B., 2014). Dengan bantuan pencernaan enzimatik, residu sistein bebas dalam protein akan teridentifikasi sebagai tempat pengikatan kation metilmerkuri dan etilmerkuri. Metode ICP-MS akan mengindikasikan adanya karbon anhidrat dan toksisitas merkuri dalam sel darah merah manusia (Hogeback, J., 2015).

Analisis Merkuri pada Rambut

Pada penelitian Soleymani, D., (2020) melakukan analisis merkuri pada sampel rambut menggunakan metode CV-AAS dengan cara 20 mg sampel rambut ditambahkan pada HNO₃:H₂O₂ 5:1 di dalam tabung polietilen (PET). Dipanaskan pada microwave pada suhu 20C selama 30 menit. Kemudian diencerkan dengan DW hingga 10 mL dicampur dengan reagen pereduksi (NaBH₄/NaOH) di mixer. selanjutnya pada penelitian Astolfi, M.L., (2019) menggunakan metode CV-AFS dengan cara 15 - 30 mg sampel rambut dicampur dengan 0,5 mL HNO₃ 67% dan 0,25 mL H₂O₂ 30%. Dipanaskan diatas waterbath selama 20 menit pada suhu 95°C. LOD: 0,01 µL L-1 dan 0,02 µL L-1.

Dalam penelitian Sofia dan Husodo (2016), pengukuran kadar merkuri di berbagai jaringan tubuh dilakukan menggunakan sampel rambut. Mereka menganalisis konsentrasi merkuri pada rambut kepala dari empat lokasi penelitian yang berbeda dengan mengikuti prosedur analisis Hg yang dikembangkan oleh Knight et al. (1999). Hasil penelitian menunjukkan variasi konsentrasi total Hg rata-rata dalam rambut kepala responden antar lokasi sebelum diukur menggunakan Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). Responden yang berasal dari desa Paya Seumantok memiliki konsentrasi Hg tertinggi (48,30 ± 22,29 µg/g), sedangkan desa Curek memiliki konsentrasi Hg terendah (11,20 ± 4,02 µg/g). Selain itu, penelitian ini juga menemukan bahwa 90,28% responden dari keempat lokasi penelitian memiliki konsentrasi Hg dalam rambut kepala yang melebihi nilai ambang batas 10 µg/g yang ditetapkan oleh WHO. Temuan ini menunjukkan adanya paparan merkuri yang signifikan di wilayah penelitian ini, yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia. Penelitian sebelumnya oleh Srogi (2007)

menunjukkan bahwa konsentrasi Hg dalam rambut kepala responden dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor ekologi, masyarakat, keluarga, sikap individu, dan pola makan. ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) adalah metode analisis multi unsur yang memungkinkan penentuan sejumlah besar unsur secara serentak dalam waktu singkat. ICP-MS digunakan untuk menganalisis unsur dalam darah, urin, jaringan, obat-obatan, dan makanan (Griboff J, dkk., 2016).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh M. Nasir, dkk (2021), mereka menganalisis kandungan merkuri dalam sampel rambut menggunakan metode Mercury Analyzer. Sampel rambut yang dianalisis berasal dari penambang emas di desa Alue Baro, dan konsentrasinya berkisar antara 1,01 hingga 2,38 mg/Kg, sementara sampel pembanding memiliki konsentrasi sebesar 0,64 mg/Kg, konsentrasi merkuri yaitu 1 mg/Kg ini melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh WHO. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mulyadi dan rekan-rekan (2021) di Kabupaten Lebong, di mana rata-rata kandungan merkuri yang dilaporkan adalah 3,06 mg/Kg. Studi yang dilakukan oleh Rumatoras dan rekan-rekan (2016) menunjukkan bahwa kandungan merkuri dalam rambut masyarakat Desa Kayeli berkisar antara 0,10 hingga 3,25 ppm, dengan sampel pembanding memiliki konsentrasi sebesar 0,42 ppm. Penelitian yang dilakukan oleh Musafira dan Ernawaty Rasul (2022) juga menggunakan metode Mercury Analyzer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan merkuri dalam rambut para penambang di lima kecamatan di Kabupaten Parigi Moutong melebihi batas standar yang ditetapkan. Sebuah nilai korelasi (r) di atas 0,5 menunjukkan adanya hubungan antara konsumsi ikan dengan tingkat konsentrasi merkuri dalam rambut. Dukungan untuk temuan ini datang dari informasi bahwa sampel ikan yang ditemukan di area penambangan emas Kabupaten Parigi Moutong juga mengandung merkuri melebihi standar baku mutu. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa sumber paparan merkuri pada para penambang berasal dari ikan yang mereka makan (Rasul & Musafira, 2022). *Mercury Analyzer* adalah alat atau instrumen yang digunakan untuk mengukur kandungan merkuri (Hg) dalam sampel. Metode analisis merkuri dapat bervariasi tergantung pada jenis instrumen yang digunakan, tetapi umumnya melibatkan konversi merkuri menjadi bentuk yang

lebih mudah diukur, seperti gas atau senyawa organik (Choudhary, A., dkk., 2018).

Penelitian oleh Iwan Desimal (2018) sampel yang diambil dengan teknik purposive sampling. Sampel rambut diambil sebanyak 50-100 gram dari responden. Sebuah penelitian dilakukan di laboratorium kimia analitik menggunakan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) untuk menguji sampel yang ada. Metode *Atomic Absorption Spectrometry*(AAS) adalah metode analisis yang digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur tertentu dalam suatu sampel berdasarkan absorbansi cahaya pada panjang gelombang tertentu. Metode ini umumnya digunakan dalam analisis kuantitatif unsur logam, termasuk merkuri (Varshney, M. et al 2015).

Analisis Merkuri pada Urin

Penelitian yang dilakukan oleh Yayah Karyanah (2013) ialah penelitian yang dilakukan di Traslabs Jakarta, dilakukan pengukuran kadar logam berat merkuri (Hg) dalam urine pada sampel perlakuan dan kontrol menggunakan alat AAS (Atomic absorption spectroscopy). Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan antara kadar logam berat merkuri (Hg) dalam urine pasien kanker payudara dan kadar logam berat merkuri (Hg) dalam urine wanita sehat, berdasarkan uji statistik Mann Whitney Test pada 2 sampel independen. Signifikansi statistik dinyatakan dengan $p < 0.05$. Temuan penelitian menunjukkan bahwa kadar logam berat merkuri (Hg) dalam urine pasien kanker payudara lebih rendah dibandingkan dengan kadar logam berat merkuri (Hg) dalam urine wanita sehat. Hal ini menunjukkan bahwa kadar logam berat merkuri (Hg) dalam urine dapat berperan sebagai indikator awal kanker payudara. Temuan ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Karyanah pada tahun 2013. Selanjutnya pada penelitian Bose-O'Reilly (2020) sampel urin dianalisis merkuri total dengan CV-AAS (PerkinElmer, Spektrometer 1100B dengan MHS 20 dan unit amalgamasi), menggunakan natriumborohidrida (NaBH_4) untuk reduksi, batas deteksi urin adalah $0,5^\circ[\mu\text{g/l}]$, dan hasilnya di bawah batas deteksi ditetapkan menjadi $0,25 [\mu\text{g/l}]$.

Analisis Merkuri pada ASI

Analisis Merkuri pada sampel ASI dilakukan oleh Bose-O'Reilly (2020) sampel ASI 1 ml dicerna dalam digester tekanan Parr berlapis PTFE tertutup (Kuerner, Rosenheim, Jerman)

dengan 1,0 ml asam nitrat 65% (Suprapur Grade, Merck, Darmstadt, Jerman) selama 6 jam pada suhu 140°C . Setelah pendinginan, sampel diencerkan menjadi 5,0 ml dengan air sulingan. Batas deteksi untuk ASI adalah $1,0^\circ[\mu\text{g/l}]$, hasil di bawah batas deteksi ditetapkan menjadi $0,5^\circ[\mu\text{g/l}]$ untuk analisis statistik lebih lanjut. kemudian ada lagi penelitian tentang analisis merkuri pada sampel ASI oleh Iman Diorgu, Kalaotaji Glory Biambo, Jonathan Nyebuchi, Chikadibia Fyeface Amadi, dan Felix Eedee Konne (2021) Sebanyak 25 mL sampel susu dicerna dalam unit pencernaan kaca semi tertutup menggunakan 7 mL HNO_3 (Merck, Deutschland) dan 7 mL hidrogen peroksida 30% (Merck, H_2O_2). Volume disesuaikan dengan ddH_2O 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.

Perbandingan Metode Analisis

Berdasarkan analisis merkuri dalam sampel biologis menggunakan berbagai metode, mulai dari metode CV-AAS (*Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry*) dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi merkuri dalam sampel biologis seperti darah, rambut, urin, dan ASI. Metode ini melibatkan pengurangan merkuri menjadi bentuk gas dengan menggunakan zat kimia tertentu, kemudian pengukuran absorpsi sinar pada panjang gelombang tertentu. CV-AAS memiliki sensitivitas yang baik dan biasanya digunakan untuk sampel dengan konsentrasi merkuri yang rendah hingga sedang. kemudian metode FI-CV-AAS (*Flow Injection Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry*) mirip dengan CV-AAS, namun dalam metode ini sampel disuntikkan ke dalam sistem aliran kontinu (*flow injection*) untuk meningkatkan efisiensi analisis. Metode ini juga memiliki sensitivitas yang baik dan digunakan untuk analisis merkuri dalam sampel biologis dengan konsentrasi rendah hingga sedang.

Selanjutnya metode ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) metode ini menggunakan plasma terionisasi (*inductively coupled plasma*) untuk mengionkan dan mengukur massa atom merkuri dalam sampel biologis. ICP-MS adalah metode yang sangat sensitif dan dapat mendeteksi merkuri dalam konsentrasi yang sangat

rendah. Metode ini juga memberikan informasi tentang isotop merkuri yang berguna dalam penelitian forensik dan penelitian lingkungan. Lalu ada metode GC-CV-AFS (*Gas Chromatography Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry*). Metode tersebut melibatkan pemisahan komponen merkuri dalam sampel biologis menggunakan kromatografi gas (GC) dan kemudian deteksi menggunakan spektrometri fluoresensi atom dingin (AFS). Metode ini cocok untuk analisis merkuri dalam sampel biologis dengan konsentrasi rendah hingga sedang dan memiliki sensitivitas yang baik. Ada juga metode AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*), metode AAS dapat digunakan untuk analisis merkuri dalam sampel biologis dengan mengukur absorpsi sinar pada panjang gelombang tertentu setelah merkuri diionisasi dalam nyala atom. AAS dapat memberikan informasi tentang konsentrasi merkuri dalam sampel, tetapi metode ini mungkin memiliki sensitivitas yang lebih rendah dibandingkan metode CV-AAS atau ICP-MS.

Metode terakhir yaitu *Mercury Analyzer*, *Mercury Analyzer* adalah instrumen khusus yang dirancang untuk analisis merkuri dalam berbagai sampel, termasuk sampel biologis. Metode yang digunakan dalam *Mercury Analyzer* dapat bervariasi, tetapi umumnya melibatkan pengurangan merkuri menjadi bentuk gas dan deteksi menggunakan teknik seperti detektor kolorimetri atau spektrometri fluoresensi atom. Metode ini sering digunakan dalam laboratorium yang mengkhususkan diri dalam analisis merkuri dan dapat memberikan hasil dengan sensitivitas yang tinggi. Berbagai metode seperti CV-AAS, FI-CV-AAS, ICP-MS, GC-CV-AFS, AAS, dan *Mercury Analyzer* dapat digunakan untuk menganalisis merkuri dalam sampel biologis. Pilihan metode tergantung pada kebutuhan analisis, sensitivitas yang diinginkan, dan ketersediaan peralatan di laboratorium.

KESIMPULAN

Merkuri (Hg) merupakan zat yang tersebar di alam dan dapat mengancam ekosistem karena paparannya dapat mengganggu kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Paparan merkuri pada manusia dapat dideteksi melalui sampel biologis yang diambil. Sampel biologis dapat berupa darah, urine, rambut, air susu ibu, saliva dan lain sebagainya. Berbagai macam metode analisis untuk mendeteksi adanya merkuri pada sampel biologis manusia dapat dilakukan, antara lain

dengan menggunakan CV-AAS, CV-AFS, ICP-MS, FI-CV-AAS, dan *Mercury Analyzer*. Metode tersebut dipilih berdasarkan ketepatan, ketersediaan, dan sensitivitasnya menganalisis kadar merkuri.

REFERENSI

- Adhani, R., Husaini. (2017). *Logam Berat Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Akram, S., Najam, R., Rizwani, G. H., & Abbas, S. A. (2015). Determination of heavy metal contents by atomic absorption spectroscopy (AAS) in some medicinal plants from Pakistani and Malaysian origin. In *Pak. J. Pharm. Sci.* 28(5); 1781-1787.
- Al-Sulaiti, M. M., Soubra, L., & Al-Ghouti, M. A. (2022). The Causes and Effects of Mercury and Methylmercury Contamination in the Marine Environment: A Review. *Current Pollution Reports.* 8(3), 249–272. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40726-022-00226-7>
- Aprianne, D., & Rachmatiah, I. (2014). Analisa Pengukuran Kandungan Merkuri Pada Beras Dan Sedimen Di Sekitar Kegiatan Pertambangan Emas Skala Kecil (Pesk) Di Kasepuhan Adat Cisitu, Kecamatan Cibeber, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 20(2), 120–131. <https://doi.org/10.5614/jtl.2014.20.2.3>
- Astika, T. J. (2022). *Identifikasi Merkuri Pada Pekerja Tambang Emas Berdasarkan Varian Sampel Uji Dan Durasi Kerja: Literature Review*. Yogyakarta: Universitas As'Asisyiah.
- Astolfi, M. L., Protano, C., Marconi, E., Piamonti, D., Massimi, L., Brunori, M., Vitali, M., & Canepari, S. (2019). Simple and rapid method for the determination of mercury in human hair by cold vapour generation atomic fluorescence spectrometry. *Microchemical Journal*, 150, 104186. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104186>
- 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>
- BPOM (Badan Pengawasan Obat dan Makanan Republik Indonesia). 2004. Info POM. *Jurnal Vol. 5, No. 4, Juli 2004*.
- Branco, V., Caito, S., Farina, M., Teixeira da Rocha, J., Aschner, M., & Carvalho, C. (2017). Biomarkers of mercury toxicity: Past, present, and future trends. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews*, 20(3), 119–154. <https://doi.org/10.1080/10937404.2017.1289834>
- 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/>
- 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.
- EMA. (2019). International Council of Harmonisation Guideline M10 on Bioanalytical Method Validation Vol. 44. London: European Medicines Agency.
- Faith, D., Biambo, K. G., Nyebuchi, J., Amadi, C. F., & Konne, F. E. (2021). Comparative Study of Heavy Metals in Breast Milk of Breast Feeding Mothers in Urban and Sub-Urban Subjects in Rivers State. *Journal of Applied Life Sciences International*, 31–36. <https://doi.org/10.9734/jalsi/2021/v24i830255>
- Hasyimi, M., Rahim, Y., Betryon. (2014). Persepsi Jajaran Kesehatan Tentang Dampak Kegiatan Penambangan Emas di Kabupaten Buru Provinsi Maluku, Tahun 2012. *Jurnal Ekologi Kesehatan*. 13(2), 86-94.
- Sofia, Husodo, A.H. (2016). Kontaminasi Merkuri Pada Sampel Lingkungan Dan Faktor Risiko Pada Masyarakat Dari Kegiatan Penambangan Emas Skala Kecil Krueng Sabee Provinsi Aceh. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 23(3), 310-318.
- Iwai-Shimada, M., Kobayashi, Y., Isobe, T., Nakayama, S. F., Sekiyama, M., Taniguchi, Y., Yamazaki, S., Michikawa, T., Oda, M., Mitsubuchi, H., Sanefuji, M., Ohga, S., Mise, N., Ikegami, A., Suga, R., & Shimono, M. (2021). Comparison of simultaneous quantitative analysis of methylmercury and inorganic mercury in cord blood using LC-ICP-MS and LC-CVAFS: The pilot study of the Japan environment and children's study. *Toxics*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/toxics9040082>
- Iwan, P. A., & Niken, P. (2020). Pengaruh Pajanan 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.
- Junita, N. R. (2013). Risiko Keracunan Merkuri (Hg) Pada Pekerja Penambangan Emas Tanpa Izin (Peti) Di Desa Cisarua Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor. *SKRIPSI*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Karyanah, Y. (2013). Analisa Komparasi Kadar Logam Berat Merkuri pada Urine Pasien Kanker Payudara dengan Kadar Logam Berat Merkuri pada Urine Wanita Sehat. *Jurnal Inohim*. 1(2), 88-98.
- Kim, S.-A., Kwon, Y., Kim, S., & Joung, H. (2016). Assessment of Dietary Mercury Intake and Blood Mercury Levels in the Korean Population: Results from the Korean National Environmental Health Survey 2012–2014. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(9), 877. <https://doi.org/10.3390/ijerph13090877>
- Malek, A., Aouad, K., El khoury, R., Halabi-Tawil, M., & Choucair, J. (2017). Chronic Mercury

- Intoxication Masquerading as Systemic Disease: A Case Report and Review of the Literature. *European Journal of Case Reports in Internal Medicine*. https://doi.org/10.12890/2017_000623
- Mestria, S., Odoardi, S., Federici, S., Bilel, S., Tirri, M., Marti, M., & Rossi, S. S. (2020). Metabolism Study of N-Methyl 2-amino Indane (NM2AI) and Determination of Metabolites in Biological Samples by LC-HRMS Metabolism Study of NM2AI by LC-HRMS. *Oxford University Press*, 1–22. <https://doi.org/10.1093/jat/bkaa111/5899167>
- Mostafavi, S. M., & Ebrahimi, A. (2019). Mercury determination in work place air and human biological samples based on dispersive liquid-liquid micro-extraction coupled with cold vapor atomic absorption spectrometry. *Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal*, 2(4), 49–58.
- Mulyadi, I., Putrajaya, F., Hasanah, N., & Sumiyati, S. (2021). Mercury content on hair as an indication of mercury exposure on gold miners in Tambang Sawah Village, Lebong Regency. *Annals of Tropical Medicine & Public Health*, 24(01). <https://doi.org/10.36295/asro.2021.24103>
- 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. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2022.v8.i3.16121>
- Nasir, M., Rahmah, W., Khaldun, I., Hasan, M., & Rusman, R. (2021). Analisis Kadar Merkuri Dalam Rambut Penambang Emas Desa Alue Baro Kecamatan Meukek Secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal IPA & Pembelajaran IPA*, 5(4), 269–278. <https://doi.org/10.24815/jipi.v5i4.22654>
- Rice, K. M., Walker, E. M., Wu, M., Gillette, C., & Blough, E. R. (2014). Environmental Mercury and Its Toxic Effects. *Journal of Preventive Medicine & Public Health*, 47(2), 74–83. <https://doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>
- Santa-Rios, A., Barst, B. D., & Basu, N. (2020). Mercury Speciation in Whole Blood and Dried Blood Spots from Capillary and Venous Sources. *Analytical Chemistry*, 92(5), 3605–3612. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b04407>
- 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>
- Sholihah, S., Putriana, N. A., & Pratiwi, R. (2021). Review Metode Analisis Warfarin dalam Plasma dengan Berbagai Instrumen. *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 8(2), 128. <https://doi.org/10.25077/jsfk.8.2.128-144.2021>
- Soleymani, D., Zargari, S., & Faghihi-Zarandi, A. (2020). Separation and determination of mercury from nail and hair in petrochemical workers based on silver carbon nanotubes by microwave-assisted headspace sorbent trap. In *Anal. Method Environ. Chem. J.* 3(2), 21-33.
- Taux, K., Kraus, T., & Kaifie, A. (2022). Mercury Exposure and Its Health Effects in Workers in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM) Sector—A Systematic Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(2081), 1-34. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042081>
- Wang, M.B., Wang, K. (2014). Flavour Frag. Cosmetics. 42(36)
- World Health Organization. (1990). Environmental Health Criteria 101: Methylmercury. Geneva.