
ANALISIS TIMBAL DAN KADMIUM DALAM AIR BERSIH MENGGUNAKAN GFAAS

Oleh

Gilang Reynaldy Supriadi Putra

Program Studi Analisis Kimia, Sekolah Vokasi, Institut Pertanian Bogor, Bogor,
Indonesia

E-mail: reynaldysupriadi@gmail.com

Article History:

Received: 18-03-2026

Revised: 23-03-2026

Accepted: 21-04-2026

Keywords:

Heavy Metals, Lead (Pb),
Cadmium (Cd), Water
Quality, GFAAS

Abstract: Heavy metal contamination in water is a critical environmental issue due to its potential adverse effects on human health. This study aims to analyze the concentrations of lead (Pb) and cadmium (Cd) in refill drinking water and clean water (PDAM) using Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS). This method was selected for its high sensitivity in detecting trace-level metals. The analytical procedure involved sample preparation through acidification, filtration, and digestion, followed by calibration curve construction and quantitative analysis using GFAAS. The results demonstrated excellent linearity for Pb and Cd calibration curves, with coefficients of determination (R^2) of 0.9958 and 0.9973, respectively. The concentrations of Pb and Cd in all samples were below the method detection limits (<LOD), indicating compliance with applicable water quality standards. Accuracy testing using the spike recovery method yielded acceptable recovery values, confirming the reliability of the analytical method. These findings suggest that the tested water sources are safe from heavy metal contamination and highlight the importance of continuous water quality monitoring to protect public health.

PENDAHULUAN

Air merupakan komponen esensial dalam kehidupan yang berperan sebagai pelarut universal serta media berbagai proses biologis dan kimia dalam lingkungan. Keberadaan air yang berkualitas menjadi faktor penting dalam mendukung kesehatan manusia dan keberlanjutan ekosistem, sehingga parameter fisika dan kimia seperti pH, total padatan terlarut, serta kandungan zat terlarut perlu diperhatikan secara komprehensif¹. Salah satu parameter kimia yang menjadi perhatian utama adalah keberadaan logam berat terlarut, yang meskipun hadir dalam konsentrasi rendah, dapat memberikan dampak signifikan

¹ Apriani Sulu Parubak et al., "Identifikasi Logam Berat Pb Dan Cd Pada Air Sumur Di Kampung Bugis Wosi Papua Barat," *CHEMISTRY PROGRESS* 16, no. 1 (2023): 53–59, <https://doi.org/10.35799/cp.16.1.2023.47619>.

terhadap kualitas air dan kesehatan manusia². Logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dikenal bersifat toksik dan akumulatif, sehingga keberadaannya dalam air bersih perlu diawasi secara ketat sebagai bagian dari upaya perlindungan kesehatan masyarakat dan lingkungan³.

Pencemaran logam berat dalam air merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang terus meningkat dan umumnya disebabkan oleh aktivitas antropogenik seperti limbah industri, domestik, serta korosi pada sistem distribusi air⁴. Keberadaan logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd) menjadi perhatian serius karena sifatnya yang toksik, persisten, serta mampu terakumulasi dalam organisme hidup dan rantai makanan⁵. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat pada sumber air masih sering ditemukan dan dalam beberapa kasus dapat melebihi baku mutu yang ditetapkan, sehingga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat⁶. Paparan logam Pb dan Cd, bahkan dalam konsentrasi rendah, diketahui dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, kerusakan ginjal, hingga meningkatkan risiko penyakit kronis, sehingga diperlukan upaya pemantauan dan pengendalian kualitas air secara berkelanjutan⁷.

Sejumlah penelitian terbaru menunjukkan bahwa kandungan logam berat dalam sumber air, baik air permukaan maupun air distribusi, masih sering ditemukan melebihi ambang batas yang ditetapkan, sehingga menimbulkan kekhawatiran terhadap keamanan air yang dikonsumsi masyarakat⁸. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kualitas air belum sepenuhnya terjamin dan memerlukan pendekatan analisis yang akurat serta sensitif, terutama untuk mendeteksi logam dalam konsentrasi jejak yang berpotensi memberikan dampak jangka panjang terhadap kesehatan manusia⁹. Berbagai metode analisis telah dikembangkan, seperti spektrofotometri UV-Vis, Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), dan Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), yang masing-masing memiliki keunggulan dalam sensitivitas dan rentang deteksi¹⁰.

² Budi Permana et al., “KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb), KADMIUM (Cd) DAN TEMBAGA (Cu) PADA AIR DAN SEDIMEN DI MUARA PERAIRAN KECAMATAN MUARA JAWA KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA,” *Tropical Aquatic Sciences* 1, no. 1 (2023): 62–68, <https://doi.org/10.30872/tas.v1i1.474>.

³ Miftahul Djana, “ANALISIS KUALITAS AIR DALAM PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR BERSIH DI KECAMATAN NATAR HAJIMENA LAMPUNG SELATAN,” *Jurnal Redoks* 8, no. 1 (2023): 81–87, <https://doi.org/10.31851/redoks.v8i1.11853>.

⁴ Joshua O. Olowoyo et al., “Heavy Metals Burden in Drinking Water: Global Patterns, Sources, and Public Health Implications,” *Water* 18, no. 8 (2026): 886, <https://doi.org/10.3390/w18080886>.

⁵ Fredrick P. Girenga et al., “Evaluation of Concentrations and Dispersion of Heavy Metals in Soils Surrounding Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Chunya District, Mbeya,” *Journal of Geoscience and Environment Protection* 13, no. 11 (2025): 286–314, <https://doi.org/10.4236/gep.2025.1311015>.

⁶ Matius Paundanan et al., “Heavy Metals Pb, Cd and Cu in Palu Bay Waters,” *Gema Lingkungan Kesehatan* 23, no. 1 (2025): 67–74, <https://doi.org/10.36568/gelinkes.v23i1.232>.

⁷ Nafeesa Khatoun et al., “From Source to Prediction: Heavy Metals Toxicity, Health Risks, Detection Techniques and AI- Enhanced Predictive Models (2019–2024),” *Journal of Hazardous Materials Advances* 21 (February 2026): 100981, <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100981>.

⁸ Paundanan et al., “Heavy Metals Pb, Cd and Cu in Palu Bay Waters.”

⁹ Muhamad Radzi Zainon et al., “Heavy Metals Pollution in Drinking Water Sources: A Case Study from Kulim Hi-Tech Park, Malaysia,” *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN* 17, no. 3 (2025): 256–67, <https://doi.org/10.20473/jkl.v17i3.2025.256-267>.

¹⁰ Basma Hossam Abdelmonem et al., “From Contamination to Detection: The Growing Threat of Heavy Metals,” *Heliyon* 11, no. 1 (2025): e41713, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41713>.

Namun demikian, metode spektrofotometri serapan atom (AAS), khususnya dengan teknik tungku grafit atau Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS), masih menjadi salah satu metode yang banyak digunakan karena kemampuannya dalam mendeteksi logam pada tingkat mikro hingga nanogram dengan akurasi dan presisi yang tinggi¹¹

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan terkait pencemaran logam berat dalam air, kajian yang secara spesifik menganalisis kandungan timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada air minum isi ulang dan air bersih, khususnya pada skala lokal, masih tergolong terbatas dan belum dilakukan secara berkelanjutan. Padahal, kedua sumber air tersebut merupakan sumber utama yang digunakan masyarakat dalam kehidupan sehari-hari, sehingga kualitasnya perlu dipastikan secara berkala. Studi terbaru menunjukkan bahwa kontaminasi logam berat dalam air minum dan sumber air domestik masih menjadi permasalahan yang signifikan di berbagai wilayah, dengan variasi konsentrasi yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia dan kondisi lingkungan setempat¹². Selain itu, penelitian lain juga menegaskan bahwa keterbatasan pemantauan kualitas air pada tingkat lokal dapat menyebabkan kurangnya informasi yang akurat mengenai paparan logam berat, sehingga diperlukan analisis yang lebih spesifik dan berkelanjutan untuk mendukung perlindungan kesehatan masyarakat¹³.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan logam timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dalam air bersih menggunakan metode GFAAS, serta membandingkan hasil yang diperoleh dengan baku mutu yang berlaku. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pemantauan kualitas air serta menjadi dasar pengambilan keputusan dalam upaya perlindungan kesehatan masyarakat dan lingkungan.

LANDASAN TEORI

a. Air dan Kualitas Air

Air merupakan komponen fundamental dalam kehidupan yang berfungsi sebagai pelarut universal serta media berbagai proses biokimia dan lingkungan. Kualitas air ditentukan oleh parameter fisika, kimia, dan biologi yang mencerminkan kelayakan air untuk berbagai peruntukan, termasuk konsumsi manusia. Parameter kimia seperti pH, total padatan terlarut (TDS), serta kandungan ion dan logam terlarut memiliki peranan penting dalam menentukan keamanan dan kualitas air, karena perubahan nilai parameter tersebut dapat mengindikasikan adanya pencemaran dan degradasi lingkungan perairan¹⁴.

¹¹ Zhazira Mukatayeva et al., "Analytical Determination of Heavy Metals in Water Using Carbon-Based Materials," *Molecules* 31, no. 1 (2025): 5, <https://doi.org/10.3390/molecules31010005>; Maria Olfa et al., "Assessing Pb and Cd Levels in the Water of Kapuas River of Central Kalimantan Using Water Hyacinth as a Biomonitor Plant," *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 12, no. 5 (2025): 8525–34, <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2025.125.8525>.

¹² Muhammad Kashif Shahid et al., "A Review of Membrane-Based Desalination Systems Powered by Renewable Energy Sources," *Water* 15, no. 3 (2023): 534, <https://doi.org/10.3390/w15030534>.

¹³ Jiajia Fan et al., "Contamination, Source Identification, Ecological and Human Health Risks Assessment of Potentially Toxic-Elements in Soils of Typical Rare-Earth Mining Areas," *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, no. 22 (2022): 15105, <https://doi.org/10.3390/ijerph192215105>.

¹⁴ Xi Gao et al., "Sources, Water Quality, and Potential Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Typical Megacity River: Insights from Monte Carlo Simulation," *Water* 17, no. 2 (2025): 224,

Keberadaan zat pencemar, khususnya logam berat, menjadi indikator penting dalam evaluasi kualitas air karena sifatnya yang toksik, persisten, serta berpotensi terakumulasi dalam organisme hidup dan memberikan dampak langsung terhadap kesehatan manusia dan keseimbangan ekosistem¹⁵.

b. Logam Berat dalam Air

Logam berat merupakan unsur dengan massa jenis tinggi yang dalam konsentrasi tertentu dapat bersifat toksik terhadap organisme hidup. Dalam lingkungan perairan, logam berat dapat berasal dari sumber alami seperti pelapukan batuan maupun dari aktivitas antropogenik seperti limbah industri, pertanian, dan domestik, yang secara signifikan meningkatkan tingkat pencemaran lingkungan perairan¹⁶. Sifat logam berat yang tidak mudah terurai serta kemampuannya untuk terakumulasi dalam jaringan biologis menjadikannya berbahaya, terutama karena dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi melalui rantai makanan hingga mencapai konsumen tingkat tinggi, termasuk manusia¹⁷. Selain itu, paparan logam berat dalam jangka panjang diketahui dapat menimbulkan berbagai dampak kesehatan serius, seperti kerusakan organ, gangguan sistem saraf, serta risiko karsinogenik, sehingga keberadaannya dalam air perlu dipantau secara ketat untuk melindungi kesehatan masyarakat dan menjaga keseimbangan ekosistem¹⁸.

c. Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd)

Timbal (Pb) dan kadmium (Cd) merupakan logam berat non-esensial yang bersifat toksik dan tidak memiliki fungsi biologis dalam tubuh manusia. Kedua logam ini umumnya masuk ke lingkungan perairan melalui aktivitas antropogenik seperti limbah industri, penggunaan bahan bakar, serta korosi pada sistem distribusi air, yang kemudian berkontribusi terhadap kontaminasi sumber air minum¹⁹. Paparan timbal (Pb) diketahui berhubungan dengan gangguan sistem saraf, penurunan fungsi kognitif, anemia, serta gangguan fungsi ginjal, sedangkan kadmium (Cd) cenderung terakumulasi dalam ginjal dan dapat menyebabkan kerusakan organ serta gangguan metabolisme tulang²⁰. Selain itu, sifat

<https://doi.org/10.3390/w17020224>; Ikrema Hassan et al., "Comprehensive Evaluation of Drinking Water Quality and the Effect of the Distribution Network in Madinah City, Saudi Arabia," *Water* 17, no. 18 (2025): 2711, <https://doi.org/10.3390/w17182711>.

¹⁵ Peng Zhang et al., "Water Quality Degradation Due to Heavy Metal Contamination: Health Impacts and Eco-Friendly Approaches for Heavy Metal Remediation," *Toxics* 11, no. 10 (2023): 828, <https://doi.org/10.3390/toxics11100828>; Thomas Dippong and Maria-Alexandra Resz, "Chemical Assessment of Drinking Water Quality and Associated Human Health Risk of Heavy Metals in Gutai Mountains, Romania," *Toxics* 12, no. 3 (2024): 168, <https://doi.org/10.3390/toxics12030168>.

¹⁶ Kosar Hikmat Hama Aziz et al., "Heavy Metal Pollution in the Aquatic Environment: Efficient and Low-Cost Removal Approaches to Eliminate Their Toxicity: A Review," *RSC Advances* 13, no. 26 (2023): 17595–610, <https://doi.org/10.1039/D3RA00723E>.

¹⁷ Aansa Ejaz et al., "Bioaccumulation and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Labeo Rohita and Mystus Seenghala from Jhelum River, Punjab, Pakistan," *Water* 16, no. 20 (2024): 2994, <https://doi.org/10.3390/w16202994>.

¹⁸ Zhang et al., "Water Quality Degradation Due to Heavy Metal Contamination."

¹⁹ Somsiri Decharat and Piriyaalux Phethuayluk, "Quality and Risk Assessment of Lead and Cadmium in Drinking Water for Child Development Centres Use in Phatthalung Province, Thailand," *Environmental Analysis Health and Toxicology* 38, no. 4 (2023): e2023020, <https://doi.org/10.5620/caht.2023020>; Iqra Afzal et al., "Comparative Analysis of Heavy Metals Toxicity in Drinking Water of Selected Industrial Zones in Gujranwala, Pakistan," *Scientific Reports* 14, no. 1 (2024): 30639, <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82138-8>.

²⁰ Talal Alharbi et al., "Health Risk Assessment and Contamination of Lead and Cadmium Levels in Sediments of the Northwestern Arabian Gulf Coast," *Heliyon* 10, no. 16 (2024): e36447, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36447>;

kedua logam ini yang persisten dan bioakumulatif menjadikannya sulit terdegradasi di lingkungan, sehingga paparan jangka panjang, bahkan dalam konsentrasi rendah, tetap berpotensi menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi manusia²¹. Oleh karena itu, keberadaan timbal dan kadmium dalam air menjadi parameter penting dalam analisis kualitas air, khususnya dalam upaya perlindungan kesehatan masyarakat dan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

d. Baku Mutu Kualitas Air

Pengendalian kualitas air di Indonesia diatur melalui berbagai regulasi, di antaranya Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 dan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 yang menetapkan batas maksimum kandungan zat pencemar, termasuk logam berat, dalam air guna menjamin keamanan bagi kesehatan masyarakat. Batas maksimum untuk timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dalam air minum ditetapkan dalam konsentrasi yang sangat rendah mengingat sifatnya yang toksik dan berpotensi menimbulkan dampak kesehatan serius, bahkan pada paparan jangka panjang²². Oleh karena itu, analisis kandungan logam berat memerlukan metode dengan sensitivitas tinggi agar hasil pengukuran akurat dan dapat digunakan sebagai dasar dalam memastikan kepatuhan terhadap standar kualitas air yang berlaku²³.

e. Spektrofotometri Serapan Atom (AAS)

Spektrofotometri Serapan Atom (Atomic Absorption Spectrometry/AAS) merupakan teknik analisis instrumental yang широко digunakan untuk menentukan konsentrasi logam dalam berbagai jenis sampel dengan tingkat sensitivitas yang tinggi. Prinsip dasar metode ini didasarkan pada pengukuran jumlah radiasi cahaya yang diserap oleh atom bebas pada panjang gelombang tertentu, sehingga memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi unsur logam secara selektif. Dalam bidang analisis lingkungan, AAS banyak dimanfaatkan karena memiliki selektivitas yang baik serta kemampuan dalam mendeteksi logam pada konsentrasi rendah hingga tingkat jejak²⁴. Selain itu, keandalan metode ini dalam memberikan hasil yang akurat dan presisi menjadikannya sebagai salah satu teknik yang umum digunakan dalam pemantauan kualitas air, khususnya dalam analisis logam berat²⁵.

f. Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS)

Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS) merupakan pengembangan dari metode AAS yang menggunakan tungku grafit sebagai atomizer untuk meningkatkan sensitivitas analisis logam. Teknik ini memungkinkan penentuan konsentrasi

M. M. Abdurassool, "Lead and Cadmium Concentrations in Drinking Water and Their Potential Risks for Children," *Environmental Reports* 5, no. 1 (2023): 29–34, <https://doi.org/10.51470/ER.2023.4.2.29>.

²¹ Rolf Teschke and Tran Dang Xuan, "Heavy Metals Like Aluminum, Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Lead, Manganese, Mercury, Nickel, and Zinc Polluting the Drinking Water: Their Individual Health Hazards," *International Journal of Molecular Sciences* 26, no. 23 (2025): 11656, <https://doi.org/10.3390/ijms262311656>; Babafemi Laoye et al., "Heavy Metal Contamination: Sources, Health Impacts, and Sustainable Mitigation Strategies with Insights from Nigerian Case Studies," *F1000Research* 14 (July 2025): 134, <https://doi.org/10.12688/f1000research.160148.4>.

²² Teschke and Xuan, "Heavy Metals Like Aluminum, Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Lead, Manganese, Mercury, Nickel, and Zinc Polluting the Drinking Water"; Abdelmonem et al., "From Contamination to Detection."

²³ Mukatayeva et al., "Analytical Determination of Heavy Metals in Water Using Carbon-Based Materials."

²⁴ Mukatayeva et al., "Analytical Determination of Heavy Metals in Water Using Carbon-Based Materials"; Khattoon et al., "From Source to Prediction."

²⁵ Abdelmonem et al., "From Contamination to Detection."

logam dalam jumlah sampel yang sangat kecil dengan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan metode flame AAS, sehingga sangat efektif untuk analisis logam pada konsentrasi jejak²⁶. Proses atomisasi dalam GFAAS dilakukan melalui tahapan pemanasan bertahap, yaitu pengeringan, pengabuan, atomisasi, dan pembersihan, yang dirancang untuk menghasilkan atom bebas secara optimal sehingga meningkatkan akurasi dan presisi pengukuran. Keunggulan ini menjadikan GFAAS sebagai metode yang andal dan banyak digunakan dalam analisis logam berat di bidang lingkungan, khususnya untuk pemantauan kualitas air²⁷.

METODE PENELITIAN

a. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode Juli hingga November 2025 di wilayah Bogor Selatan, Kota Bogor, Jawa Barat. Pengambilan dan analisis sampel dilakukan pada lokasi yang sama untuk memastikan konsistensi kondisi lingkungan dan representativitas data yang diperoleh.

b. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi buret, pipet volumetrik, pipet mohr, labu takar, erlenmeyer, corong, hotplate, serta seperangkat alat penyaring vakum. Instrumen utama yang digunakan adalah Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS) yang memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi logam pada konsentrasi jejak²⁸.

Bahan yang digunakan meliputi sampel air minum isi ulang dan air bersih (PDAM), asam nitrat (HNO_3), kertas saring berpori $0,45 \mu\text{m}$, larutan induk multi-elemen 1000 mg/L, serta akuades. Penggunaan HNO_3 bertujuan untuk menjaga kestabilan logam dalam sampel selama proses analisis²⁹.

c. Pembuatan Larutan Standar

Larutan standar dibuat melalui pengenceran bertingkat dari larutan induk multi-elemen 1000 mg/L menjadi 10 ppm, 1 ppm, dan 0,1 ppm menggunakan larutan HNO_3 encer. Pengenceran dilakukan secara sistematis untuk memperoleh rentang konsentrasi yang sesuai dalam pembuatan kurva kalibrasi serta memastikan linearitas respon instrumen terhadap konsentrasi logam³⁰.

d. Preparasi Sampel

Sebanyak 500 mL sampel diasamkan menggunakan HNO_3 hingga $\text{pH} < 2$ dan didiamkan selama 24 jam untuk menjaga kestabilan logam dalam bentuk terlarut. Sampel kemudian disaring menggunakan kertas saring berpori $0,45 \mu\text{m}$ untuk menghilangkan partikel tersuspensi. Filtrat selanjutnya didestruksi menggunakan HNO_3 pada suhu $100 \text{ }^\circ\text{C}$ hingga volume berkurang, kemudian diencerkan kembali sebelum dilakukan analisis. Tahap ini bertujuan untuk menghilangkan interferensi matriks dan meningkatkan akurasi

²⁶ Mukatayeva et al., "Analytical Determination of Heavy Metals in Water Using Carbon-Based Materials"; Khatoon et al., "From Source to Prediction."

²⁷ Abdelmonem et al., "From Contamination to Detection."

²⁸ Mukatayeva et al., "Analytical Determination of Heavy Metals in Water Using Carbon-Based Materials"; Khatoon et al., "From Source to Prediction."

²⁹ Teschke and Xuan, "Heavy Metals Like Aluminum, Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Lead, Manganese, Mercury, Nickel, and Zinc Polluting the Drinking Water."

³⁰ Abdelmonem et al., "From Contamination to Detection."

pengukuran³¹.

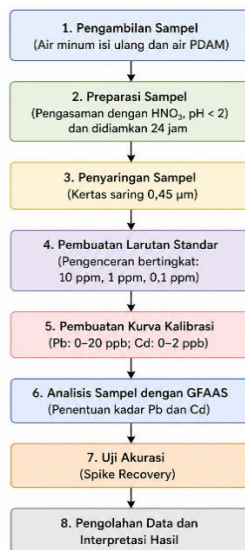
e. Analisis Logam Pb dan Cd

Penentuan kadar timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dilakukan menggunakan metode GFAAS dengan bantuan kurva kalibrasi dari larutan standar. Konsentrasi standar Pb yang digunakan adalah 0–20 ppb, sedangkan Cd 0–2 ppb. Analisis dilakukan menggunakan sistem auto sampler untuk meningkatkan presisi dan reproduksibilitas hasil. Metode GFAAS memungkinkan deteksi logam pada konsentrasi sangat rendah melalui proses atomisasi bertahap yang menghasilkan tingkat sensitivitas dan akurasi yang tinggi³²

f. Uji Akurasi (Spike Recovery)

Uji akurasi dilakukan menggunakan metode spike dengan menambahkan larutan standar ke dalam sampel pada konsentrasi tertentu, yaitu 10 ppb untuk Pb dan 1 ppb untuk Cd. Nilai recovery yang diperoleh digunakan untuk mengevaluasi keandalan metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini³³.

g. Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dari pengambilan sampel air, dilanjutkan dengan proses preparasi dan pengasaman sampel. Selanjutnya dilakukan pembuatan larutan standar dan kurva kalibrasi, kemudian analisis kadar logam Pb dan Cd menggunakan GFAAS. Tahap akhir meliputi pengolahan data dan evaluasi hasil melalui uji akurasi (spike recovery).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kadar logam timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sampel air minum isi ulang dan air bersih (PDAM) dilakukan menggunakan metode Graphite Furnace Atomic Absorption

³¹ Dippong and Resz, “Chemical Assessment of Drinking Water Quality and Associated Human Health Risk of Heavy Metals in Gutai Mountains, Romania”; Zhang et al., “Water Quality Degradation Due to Heavy Metal Contamination.”
³² Mukatayeva et al., “Analytical Determination of Heavy Metals in Water Using Carbon-Based Materials”; Khattoon et al., “From Source to Prediction.”
³³ Ejaz et al., “Bioaccumulation and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Labeo Rohita and Mystus Seenghala from Jhelum River, Punjab, Pakistan.”

Spectrometry (GFAAS). Data yang diperoleh meliputi kurva kalibrasi, hasil pengukuran sampel, serta uji akurasi menggunakan metode spike recovery. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan secara kuantitatif dan dikaitkan dengan prinsip spektrofotometri serapan atom serta standar baku mutu air berdasarkan regulasi nasional.

a. Prinsip Analisis dan Preparasi Sampel

Preparasi sampel merupakan tahapan krusial dalam analisis logam berat karena menentukan keakuratan hasil pengukuran. Pengasaman sampel hingga pH < 2 menggunakan HNO₃ bertujuan untuk menjaga logam tetap dalam bentuk terlarut dan mencegah pembentukan presipitat hidroksida seperti Pb(OH)₂ dan Cd(OH)₂. Selain itu, proses penyaringan menggunakan membran 0,45 µm memastikan bahwa analisis difokuskan pada fraksi logam terlarut (dissolved metals), sehingga hasil lebih representatif terhadap kondisi aktual air.

Proses destruksi menggunakan HNO₃ pekat berfungsi untuk menguraikan matriks organik yang dapat mengikat logam, sehingga ion logam dilepaskan dalam bentuk bebas dan siap dianalisis. Tahapan ini sangat penting untuk menghindari interferensi matriks yang dapat menurunkan sensitivitas dan akurasi metode.

Prinsip kerja AAS didasarkan pada hukum Lambert-Beer, di mana absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi atom bebas dalam sampel. Semakin tinggi konsentrasi logam, maka semakin besar intensitas radiasi yang diserap. Oleh karena itu, metode ini sangat efektif untuk analisis logam pada konsentrasi rendah hingga jejak.

b. Kurva Kalibrasi Logam Pb

Kurva kalibrasi Pb menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi dan absorbansi dengan persamaan regresi:

$$y = 0,0328x - 0,0156$$

$$R^2 = 0,9958 ; r = 0,9979$$

Nilai koefisien korelasi yang mendekati 1 menunjukkan bahwa metode memiliki linearitas yang sangat baik dan memenuhi kriteria validasi metode analisis ($r \geq 0,995$). Hal ini menunjukkan bahwa respon instrumen proporsional terhadap konsentrasi Pb dalam rentang pengukuran.

Nilai batas deteksi (LOD) sebesar 2,07 ppb dan batas kuantisasi (LOQ) sebesar 6,26 ppb menunjukkan bahwa metode memiliki sensitivitas yang cukup baik untuk analisis logam Pb pada konsentrasi rendah. Namun, deviasi relatif yang lebih tinggi pada konsentrasi rendah menunjukkan adanya keterbatasan akurasi pada batas deteksi, yang merupakan karakteristik umum dalam analisis instrumental.

c. Kadar Logam Pb pada Sampel

Tabel 1. Hasil Kadar Pb pada Sampel Air

Sampel	Absorbansi	Konsentrasi (ppb)	Spike (ppb)	Recovery (%)	Batas Maksimum (ppb)	Keterangan
Air Minum	-0,0179	0	9,0427	90,43	10-30	Memenuhi
Air Bersih	-0,0167	0	9,1707	91,71	10-30	Memenuhi

Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar Pb pada kedua sampel berada di bawah batas deteksi (<LOD), sehingga secara kuantitatif dinyatakan tidak terdeteksi. Hal ini menunjukkan

bahwa kualitas air yang diuji masih memenuhi standar baku mutu berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023 dan PP No. 22 Tahun 2021.

Nilai recovery sebesar 90–91% menunjukkan bahwa metode memiliki akurasi yang baik dan tidak dipengaruhi secara signifikan oleh matriks sampel. Selain itu, nilai %RPD sebesar 0% menunjukkan tingkat presisi yang sangat tinggi, yang menandakan konsistensi hasil pengukuran.

d. Kurva Kalibrasi Logam Cd

Kurva kalibrasi Cd menunjukkan hubungan linier dengan persamaan:

$$y = 0,2605x + 0,0632$$

$$R^2 = 0,9973 ; r = 0,9986$$

Nilai ini menunjukkan linearitas yang sangat baik dan memenuhi standar validasi metode. Batas deteksi (LOD) sebesar 0,17 ppb dan batas kuantisasi (LOQ) sebesar 0,51 ppb menunjukkan bahwa metode lebih sensitif terhadap Cd dibandingkan Pb.

Namun, deviasi relatif yang lebih besar pada konsentrasi rendah menunjukkan bahwa pengukuran pada rentang tersebut perlu dilakukan dengan kehati-hatian atau melalui replikasi tambahan untuk meningkatkan keandalan data.

e. Kadar Logam Cd pada Sampel

Tabel 2. Hasil Kadar Cd pada Sampel Air

Sampel	Absorbansi	Konsentrasi (ppb)	Spike (ppb)	Recovery (%)	Batas Maksimum (ppb)	Keterangan
Air Minum	0,0615	0	1,0695	106,95	3–10	Memenuhi
Air Bersih	0,0454	0	1,0591	105,91	3–10	Memenuhi

Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar Cd pada kedua sampel juga berada di bawah batas deteksi metode. Hal ini menunjukkan bahwa air yang dianalisis tidak mengandung Cd dalam jumlah yang signifikan dan masih berada dalam batas aman sesuai regulasi.

Nilai recovery yang berada pada kisaran 105–106% menunjukkan bahwa metode memiliki akurasi yang sangat baik. Selain itu, nilai %RPD sebesar 0% menunjukkan bahwa metode memiliki presisi tinggi dan hasil pengukuran sangat konsisten.

f. Evaluasi Metode dan Implikasi Hasil

Secara keseluruhan, metode GFAAS yang digunakan menunjukkan performa analitik yang baik, ditinjau dari aspek linearitas, akurasi, dan presisi. Metode ini mampu mendeteksi logam pada konsentrasi rendah dengan tingkat keandalan yang tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Pb dan Cd dalam sampel air minum isi ulang dan air bersih PDAM berada di bawah batas deteksi, sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas air masih memenuhi standar keamanan. Namun demikian, pemantauan secara berkala tetap diperlukan mengingat sifat logam berat yang toksik dan akumulatif.

KESIMPULAN

Metode Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS) menunjukkan kinerja analitik yang andal dalam penentuan logam berat pada konsentrasi rendah, ditinjau dari parameter linearitas, akurasi, dan presisi yang memenuhi kriteria validasi metode. Secara konseptual, hasil ini menguatkan penerapan hukum Lambert–Beer dalam analisis

spektrofotometri, di mana hubungan linier antara absorbansi dan konsentrasi memungkinkan kuantifikasi logam Pb dan Cd secara akurat dan konsisten.

Kadar logam timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sampel air minum isi ulang dan air bersih (PDAM) berada di bawah batas deteksi metode ($<LOD$), sehingga dinyatakan memenuhi standar baku mutu yang berlaku. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kualitas air pada lokasi penelitian masih berada dalam kategori aman dari kontaminasi logam berat. Selain itu, hasil yang diperoleh menegaskan bahwa keberhasilan analisis tidak hanya ditentukan oleh sensitivitas instrumen, tetapi juga oleh ketepatan tahapan preparasi sampel serta penerapan validasi metode yang sistematis.

Saran (Future Works)

Pemantauan kualitas air secara berkala dengan cakupan sampel yang lebih luas perlu dilakukan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif terkait potensi pencemaran logam berat. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan metode analisis dengan sensitivitas yang lebih tinggi atau mengombinasikan teknik lain, serta mengkaji logam dalam berbagai fraksi (terlarut dan total) guna mendukung pengelolaan kualitas air yang lebih berkelanjutan.

Pengakuan/Acknowledgements

Penulis menyampaikan terima kasih kepada institusi dan pihak-pihak yang telah memberikan dukungan fasilitas, arahan, serta bantuan teknis selama pelaksanaan penelitian ini, sehingga seluruh rangkaian kegiatan dapat berjalan dengan baik dan menghasilkan data yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdelmonem, Basma Hossam, Lereen T. Kamal, Rana M. Elbaz, Mohamed R. Khalifa, and Anwar Abdelnaser. "From Contamination to Detection: The Growing Threat of Heavy Metals." *Heliyon* 11, no. 1 (2025): e41713. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41713>.
- [2] Abdulrasool, M. M. "Lead and Cadmium Concentrations in Drinking Water and Their Potential Risks for Children." *Environmental Reports* 5, no. 1 (2023): 29–34. <https://doi.org/10.51470/ER.2023.4.2.29>.
- [3] Afzal, Iqra, Shaheen Begum, Shazia Iram, Rabia Shabbir, Abdelaaty A. Shahat, and Tehseen Javed. "Comparative Analysis of Heavy Metals Toxicity in Drinking Water of Selected Industrial Zones in Gujranwala, Pakistan." *Scientific Reports* 14, no. 1 (2024): 30639. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82138-8>.
- [4] Alharbi, Talal, Hamdy E. Nour, Khaled Al-Kahtany, Taisser Zumlot, and Abdelbaset S. El-Sorogy. "Health Risk Assessment and Contamination of Lead and Cadmium Levels in Sediments of the Northwestern Arabian Gulf Coast." *Heliyon* 10, no. 16 (2024): e36447. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36447>.
- [5] Aziz, Kosar Hikmat Hama, Fryad S. Mustafa, Khalid M. Omer, Sarkawt Hama, Rebaz Fayaq Hamarawf, and Kaiwan Othman Rahman. "Heavy Metal Pollution in the Aquatic Environment: Efficient and Low-Cost Removal Approaches to Eliminate Their Toxicity: A Review." *RSC Advances* 13, no. 26 (2023): 17595–610. <https://doi.org/10.1039/D3RA00723E>.
- [6] Decharat, Somsiri, and Piriyalux Phethuayluk. "Quality and Risk Assessment of Lead

- and Cadmium in Drinking Water for Child Development Centres Use in Phatthalung Province, Thailand.” *Environmental Analysis Health and Toxicology* 38, no. 4 (2023): e2023020. <https://doi.org/10.5620/eaht.2023020>.
- [7] Dippong, Thomas, and Maria-Alexandra Resz. “Chemical Assessment of Drinking Water Quality and Associated Human Health Risk of Heavy Metals in Gutai Mountains, Romania.” *Toxics* 12, no. 3 (2024): 168. <https://doi.org/10.3390/toxics12030168>.
- [8] Djana, Miftahul. “ANALISIS KUALITAS AIR DALAM PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR BERSIH DI KECAMATAN NATAR HAJIMENA LAMPUNG SELATAN.” *Jurnal Redoks* 8, no. 1 (2023): 81–87. <https://doi.org/10.31851/redoks.v8i1.11853>.
- [9] Ejaz, Aansa, Sana Ullah, Sehrish Ijaz, et al. “Bioaccumulation and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Labeo Rohita and Mystus Seenghala from Jhelum River, Punjab, Pakistan.” *Water* 16, no. 20 (2024): 2994. <https://doi.org/10.3390/w16202994>.
- [10] Fan, Jiajia, Li Deng, Weili Wang, Xiu Yi, and Zhiping Yang. “Contamination, Source Identification, Ecological and Human Health Risks Assessment of Potentially Toxic-Elements in Soils of Typical Rare-Earth Mining Areas.” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, no. 22 (2022): 15105. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215105>.
- [11] Gao, Xi, Guilin Han, Shitong Zhang, and Jie Zeng. “Sources, Water Quality, and Potential Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Typical Megacity River: Insights from Monte Carlo Simulation.” *Water* 17, no. 2 (2025): 224. <https://doi.org/10.3390/w17020224>.
- [12] Girenga, Fredrick P., Nelson Mpumi, Ruth L. Moirana, and Revocatus L. Machunda. “Evaluation of Concentrations and Dispersion of Heavy Metals in Soils Surrounding Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Chunya District, Mbeya.” *Journal of Geoscience and Environment Protection* 13, no. 11 (2025): 286–314. <https://doi.org/10.4236/gep.2025.1311015>.
- [13] Hassan, Ikrema, Sultan K. Salamah, and Mustafa Bob. “Comprehensive Evaluation of Drinking Water Quality and the Effect of the Distribution Network in Madinah City, Saudi Arabia.” *Water* 17, no. 18 (2025): 2711. <https://doi.org/10.3390/w17182711>.
- [14] Khatoon, Nafeesa, Sartaj Ali, Zeyang Li, et al. “From Source to Prediction: Heavy Metals Toxicity, Health Risks, Detection Techniques and AI- Enhanced Predictive Models (2019–2024).” *Journal of Hazardous Materials Advances* 21 (February 2026): 100981. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100981>.
- [15] Laoye, Babafemi, Peter Olagbemide, Tolulope Ogunnusi, and Oghenerobor Akpor. “Heavy Metal Contamination: Sources, Health Impacts, and Sustainable Mitigation Strategies with Insights from Nigerian Case Studies.” *F1000Research* 14 (July 2025): 134. <https://doi.org/10.12688/f1000research.160148.4>.
- [16] Mukatayeva, Zhazira, Diana Konarbay, Yrysgul Bakytkarim, Nurgul Shadin, and Yerbol Tileuberdi. “Analytical Determination of Heavy Metals in Water Using Carbon-Based Materials.” *Molecules* 31, no. 1 (2025): 5. <https://doi.org/10.3390/molecules31010005>.
- [17] Olfa, Maria, Heri Budi Santoso, Rakmawati Rakmawati, and Evi Kuntorini Mintowati. “Assessing Pb and Cd Levels in the Water of Kapuas River of Central Kalimantan Using

- Water Hyacinth as a Biomonitor Plant.” *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 12, no. 5 (2025): 8525–34. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2025.125.8525>.
- [18] Olowoyo, Joshua O., Olasunkanmi O. Olaiya, Omufere-Oke L. Oharisi, Johnson A. Olusola, Unathi A. Tshoni, and Oluwaseun M. Oladeji. “Heavy Metals Burden in Drinking Water: Global Patterns, Sources, and Public Health Implications.” *Water* 18, no. 8 (2026): 886. <https://doi.org/10.3390/w18080886>.
- [19] Parubak, Apriani Sulu, Yunita Pare Rombe, Putri Sarera Surbakti, et al. “Identifikasi Logam Berat Pb Dan Cd Pada Air Sumur Di Kampung Bugis Wosi Papua Barat.” *CHEMISTRY PROGRESS* 16, no. 1 (2023): 53–59. <https://doi.org/10.35799/cp.16.1.2023.47619>.
- [20] Paundanan, Matius, Nelky Suriawanto, and Moh. Iqbal. “Heavy Metals Pb, Cd and Cu in Palu Bay Waters.” *Gema Lingkungan Kesehatan* 23, no. 1 (2025): 67–74. <https://doi.org/10.36568/gelinkes.v23i1.232>.
- [21] Permana, Budi, Akhmad Rafii, and Ristiana Eryati. “KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb), KADMIUM (Cd) DAN TEMBAGA (Cu) PADA AIR DAN SEDIMEN DI MUARA PERAIRAN KECAMATAN MUARA JAWA KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA.” *Tropical Aquatic Sciences* 1, no. 1 (2023): 62–68. <https://doi.org/10.30872/tas.v1i1.474>.
- [22] Shahid, Muhammad Kashif, Bandita Mainali, Prangya Ranjan Rout, et al. “A Review of Membrane-Based Desalination Systems Powered by Renewable Energy Sources.” *Water* 15, no. 3 (2023): 534. <https://doi.org/10.3390/w15030534>.
- [23] Teschke, Rolf, and Tran Dang Xuan. “Heavy Metals Like Aluminum, Arsenic, Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Lead, Manganese, Mercury, Nickel, and Zinc Polluting the Drinking Water: Their Individual Health Hazards.” *International Journal of Molecular Sciences* 26, no. 23 (2025): 11656. <https://doi.org/10.3390/ijms262311656>.
- [24] Zainon, Muhamad Radzi, Mohd Yusmaidie Aziz, Ahmad Razali Ishak, et al. “Heavy Metals Pollution in Drinking Water Sources: A Case Study from Kulim Hi-Tech Park, Malaysia.” *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN* 17, no. 3 (2025): 256–67. <https://doi.org/10.20473/jkl.v17i3.2025.256-267>.
- [25] Zhang, Peng, Mingjie Yang, Jingjing Lan, et al. “Water Quality Degradation Due to Heavy Metal Contamination: Health Impacts and Eco-Friendly Approaches for Heavy Metal Remediation.” *Toxics* 11, no. 10 (2023): 828. <https://doi.org/10.3390/toxics11100828>.