TSAQOFAH
Jurnal Penelitian Guru Indonesia

p-ISSN: 2810-0395
e-ISSN: 2810-0042

Terindeks : Dimensions, Scilit, Lens, Semantic, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/tsaqofah.v6i3.9790

ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT CU DAN ZN DENGAN METODE SPEKTROFOTOMETRI SERAPAN ATOM (SSA) DALAM AIR LIMBAH INDUSTRI

Analysis of Cu and Zn Heavy Metal Content Using the Atomic Absorption Spectrophotometry (SSA) Method in Industrial Wastewater

Nanda Aulia Putri & Deski Beri
Universitas Negeri Padang
deski.beri@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Mar 12, 2026	Apr 9, 2026	Apr 21, 2026	Apr 26, 2026

Abstract

Industrial wastewater is a by-product of production processes that generally has low quality because it contains various contaminants, including heavy metals, with types and concentrations depending on the characteristics of the industry that produces it. This study aims to analyze the content of copper (Cu) and zinc (Zn) metals in wastewater samples using the flame Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method. This study employed a quantitative approach with a laboratory experimental design. The analysis was conducted by preparing standard solutions to obtain calibration curves as the basis for determining metal concentrations in the samples. The results show that the calibration curves had very good linearity, with coefficient of determination (R^2) values of 0.9989 for Cu and 0.9956 for Zn. The concentrations of Cu metal in the samples were -0.0599 ppm and -0.0647 ppm, respectively, while the concentrations of Zn were 0.0426 ppm and -0.0072 ppm, respectively. Negative values indicate that the metal concentrations were below the detection limit of the instrument. Based on these

Tsaqofah journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

results, the Cu and Zn contents in the wastewater samples were still below the quality standards stipulated in Regulation of the Minister of Environment of the Republic of Indonesia Number 5 of 2014, so they did not indicate a significant level of pollution. The conclusion of this study emphasizes that the flame AAS method is effective for analyzing heavy metals at low concentrations. The practical implication is that this method can be applied in monitoring industrial wastewater quality to support environmental pollution control.

Keywords: Heavy Metals; Copper; Zinc; Atomic Absorption Spectrophotometry; Wastewater.

Abstrak: Air limbah industri merupakan hasil samping proses produksi yang umumnya memiliki kualitas rendah karena mengandung berbagai kontaminan, termasuk logam berat, dengan jenis dan konsentrasi yang bergantung pada karakteristik industri penghasilnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan logam tembaga (Cu) dan seng (Zn) dalam sampel air limbah menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) nyala. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen laboratorium. Analisis dilakukan melalui pembuatan larutan standar untuk memperoleh kurva kalibrasi sebagai dasar penentuan konsentrasi logam dalam sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurva kalibrasi memiliki linearitas sangat baik, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9989 untuk Cu dan 0,9956 untuk Zn. Konsentrasi logam Cu dalam sampel masing-masing sebesar -0,0599 ppm dan -0,0647 ppm, sedangkan konsentrasi Zn masing-masing sebesar 0,0426 ppm dan -0,0072 ppm. Nilai negatif menunjukkan bahwa konsentrasi logam berada di bawah batas deteksi alat. Berdasarkan hasil tersebut, kandungan Cu dan Zn dalam sampel air limbah masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, sehingga tidak menunjukkan tingkat pencemaran yang signifikan. Simpulan penelitian ini menegaskan bahwa metode SSA nyala efektif digunakan untuk analisis logam berat pada konsentrasi rendah. Implikasi praktisnya, metode ini dapat diterapkan dalam pemantauan kualitas air limbah industri guna mendukung pengendalian pencemaran lingkungan.

Kata Kunci: Logam Berat; Tembaga; Seng; Spektrofotometri Serapan Atom; Air Limbah.

PENDAHULUAN

Pencemaran air akibat aktivitas industri merupakan salah satu isu lingkungan global yang terus meningkat dalam beberapa dekade terakhir (Budisafitri et al., 2024). Limbah industri yang dibuang ke badan air sering mengandung zat berbahaya, termasuk logam berat seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn), yang bersifat toksik, persisten, serta mampu terakumulasi dalam rantai makanan (Garg et al., 2021; Zakaria et al., 2025). Fenomena ini tidak hanya terjadi pada skala global, tetapi juga menjadi permasalahan serius di tingkat nasional dan lokal, terutama di kawasan industri yang belum memiliki sistem pengolahan limbah yang optimal. Keberadaan logam berat dalam perairan dapat menyebabkan degradasi kualitas lingkungan dan berpotensi mengganggu kesehatan manusia (Safiyah et al., 2026).

Logam berat seperti Cu dan Zn memiliki sifat unik karena termasuk logam esensial yang dibutuhkan dalam jumlah kecil, namun dapat menjadi toksik apabila konsentrasinya melebihi ambang batas tertentu. Paparan tembaga dalam kadar tinggi dapat menyebabkan gangguan fungsi hati, ginjal, dan sistem saraf, sedangkan seng dalam jumlah berlebih dapat mengganggu keseimbangan metabolisme serta berdampak negatif pada organisme akuatik (Falfushynska et al., 2024). Oleh karena itu, keberadaan kedua logam ini dalam air limbah industri perlu mendapat perhatian serius.

Berdasarkan perspektif ilmiah, pencemaran logam berat dalam perairan berkaitan erat dengan teori toksikologi lingkungan yang menyatakan bahwa akumulasi zat berbahaya dalam ekosistem dapat menimbulkan efek biomagnifikasi dan bioakumulasi. Dalam konteks ini, peneliti memandang bahwa analisis kandungan logam berat menjadi langkah penting untuk mengidentifikasi tingkat risiko lingkungan dan kesehatan. Tanpa adanya pemantauan yang akurat, potensi dampak jangka panjang dari pencemaran logam berat sulit dikendalikan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji kandungan logam berat dalam air limbah industri menggunakan berbagai metode analisis. Studi oleh Oladimeji et al. (2024)menunjukkan bahwa industri elektroplating dan tekstil merupakan kontributor utama pencemaran Cu dan Zn di perairan. Penelitian lain oleh Komalasari et al. (2026) menegaskan pentingnya evaluasi kualitas air limbah sebagai dasar pengendalian pencemaran lingkungan. Selain itu, Movsisyan et al. (2026) mengemukakan bahwa metode analisis modern mampu mendeteksi logam berat hingga konsentrasi sangat rendah dengan tingkat akurasi tinggi.

Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut lebih berfokus pada identifikasi kandungan logam berat secara umum dan belum secara spesifik menekankan pada penerapan metode analisis tertentu secara mendalam, khususnya dalam konteks penggunaan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) pada sampel air limbah yang beragam. Selain itu, masih terbatas kajian yang mengintegrasikan analisis kuantitatif logam berat dengan evaluasi efektivitas pengolahan limbah industri. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu diisi.

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) atau Atomic *Absorption Spectrophotometry* (AAS) merupakan salah satu metode analisis yang banyak digunakan dalam penentuan kadar logam berat karena memiliki sensitivitas tinggi, selektivitas yang baik, serta mampu memberikan hasil yang presisi (Purnawija et al., 2021). Metode ini bekerja berdasarkan prinsip penyerapan radiasi oleh atom bebas pada panjang gelombang tertentu, di mana setiap unsur memiliki

karakteristik panjang gelombang yang khas. Dengan demikian, SSA memungkinkan analisis kuantitatif logam secara akurat dalam berbagai jenis sampel.

Kebaruan dalam penelitian ini terletak pada penerapan metode SSA untuk menganalisis kandungan logam Cu dan Zn dalam sampel air limbah secara lebih spesifik dan kontekstual, serta mengaitkannya dengan kualitas lingkungan. Penelitian ini juga didasarkan pada teori analisis instrumental yang menekankan pentingnya akurasi, presisi, dan sensitivitas dalam pengukuran kimia (Harris, 2023). Dengan pendekatan ini, diharapkan diperoleh data yang lebih valid sebagai dasar evaluasi kualitas air limbah.

Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi dalam memperkaya kajian tentang pemantauan kualitas lingkungan berbasis analisis kimia modern. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengambil kebijakan, industri, maupun akademisi dalam mengembangkan strategi pengelolaan limbah yang lebih efektif dan berkelanjutan (Siddique et al., 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis kandungan logam berat tembaga (Cu) dan seng (Zn) dalam sampel air limbah menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh data yang akurat mengenai kadar logam berat, menilai kualitas air limbah, serta mengidentifikasi potensi dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam upaya pengendalian pencemaran air akibat aktivitas industri.

METODE

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) nyala (Flame AAS) yang dilengkapi dengan lampu katoda berongga (Hollow Cathode Lamp) untuk analisis Cu dan Zn, serta peralatan gelas laboratorium seperti gelas piala, labu ukur, pipet, neraca analitik, dan erlenmeyer.

Bahan yang digunakan terdiri dari aquadest sebagai pelarut, asam nitrat (HNO_3) p.a sebagai pengasam dan pengawet larutan, serta larutan induk standar tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan konsentrasi 1000 ppm.

Prosedur Penelitian

Preparasi Pelarut Aquadest

Prosedur penelitian diawali dengan preparasi pelarut menggunakan aquadest yang diasamkan. Sebanyak 2000 mL aquadest dimasukkan ke dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan 4 mL asam nitrat (HNO_3) p.a dan dihomogenkan untuk menghasilkan pelarut yang stabil serta mencegah pengendapan logam.

Pembuatan Larutan Baku Tembaga (Cu) 100 ppm dan Seng (Zn) 50 ppm

Pembuatan larutan baku tembaga (Cu) 100 ppm dengan cara memipet 10 mL larutan induk Cu 1000 ppm ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan menggunakan aquadest yang telah diasamkan hingga tanda batas dan dihomogenkan. Larutan yang telah homogen kemudian dipindahkan ke dalam botol dan diberi label. Prosedur yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan baku seng (Zn) 50 ppm dengan memipet 5 mL larutan induk Zn 1000 ppm ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan hingga tanda batas dan dihomogenkan.

Pembuatan Deret Standar Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) 50 ppm

Pembuatan deret standar tembaga (Cu) dilakukan dengan mengencerkan larutan baku 100 ppm ke dalam beberapa variasi konsentrasi, yaitu 0,5 ppm; 1 ppm; 1,5 ppm; 2 ppm; 2,5 ppm; dan 3 ppm. Masing-masing larutan dibuat dengan memipet volume tertentu (0,5 mL; 1 mL; 1,5 mL; 2 mL; 2,5 mL; dan 3 mL) ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan dengan aquadest yang telah diasamkan hingga tanda batas dan dihomogenkan. Larutan kemudian disimpan dalam botol dan diberi label.

Pembuatan deret standar seng (Zn) dilakukan dengan cara yang sama menggunakan larutan baku 50 ppm, dengan variasi konsentrasi 0,1 ppm; 0,2 ppm; 0,3 ppm; 0,4 ppm; 0,5 ppm; dan 0,6 ppm. Volume yang dipipet masing-masing adalah 0,2 mL; 0,4 mL; 0,6 mL; 0,8 mL; 1 mL; dan 1,2 mL ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.2.4 Penggunaan SSA Nyala (Flame Atomic Absorption Spectroscopy, Flame AAS)

Pengoperasian instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) nyala. Larutan blanko berupa aquadest yang diasamkan disiapkan terlebih dahulu. Sampel air limbah yang dianalisis diberi kode PKIV12 dan PKIV13. Instrumen SSA dinyalakan bersamaan dengan komputer, kemudian air compressor dan gas asetilen diaktifkan pada tekanan 60 Psi. Lampu katoda berongga untuk masing-masing unsur dipasang dan diatur posisinya sesuai dengan metode analisis.

Optimasi kondisi nyala api dilakukan menggunakan larutan standar dengan konsentrasi tertinggi, yaitu 3 ppm untuk Cu dan 0,6 ppm untuk Zn, hingga diperoleh absorbansi yang stabil. Selanjutnya dilakukan pengukuran larutan standar untuk membentuk kurva kalibrasi, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran sampel air limbah. Setiap sampel dianalisis sebanyak dua kali pengulangan untuk meningkatkan keakuratan data.

Selama proses pengukuran, diamati apakah kurva kalibrasi menunjukkan hubungan linier dengan nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati 1 ($\geq$ 0,999). Setelah seluruh pengukuran selesai, dilakukan pengecekan kondisi alat melalui pembacaan kontrol untuk memastikan instrumen tetap dalam kondisi optimal. Data hasil pengukuran kemudian dicatat dan diolah hingga diperoleh hasil akhir yang valid.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kandungan logam berat pada sampel air limbah dilakukan terhadap dua parameter, yaitu tembaga (Cu) dan seng (Zn). Analisis dilakukan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Metode ini digunakan karena memiliki sensitivitas dan selektivitas yang baik dalam mendeteksi logam pada konsentrasi rendah. Hasil pengujian disajikan berdasarkan masing-masing parameter, yaitu Cu dan Zn, kemudian langsung diikuti dengan pembahasan agar interpretasi data lebih sistematis.

1. Hasil dan Pembahasan Pengujian Tembaga (Cu)

Berdasarkan hasil pengujian kadar tembaga (Cu) pada sampel air limbah, diperoleh data konsentrasi, persen RSD, dan nilai rata-rata absorbansi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Logam Tembaga (Cu) pada Sampel Air Limbah

No.	Label Sampel	Konsentrasi (ppm)	%RSD	Mean Absorbansi
1	PKIV12	-0,0599	4,90	0,0067
2	PKIV12	-0,0593	5,71	0,0068
3	PKIV13	-0,0647	2,30	0,0056
4	PKIV13	-0,0641	1,49	0,0058

Hasil pengukuran Cu diperoleh berdasarkan kurva standar dengan persamaan regresi linear:

$$y = 0{,}1997x + 0{,}0186$$

Persamaan tersebut menunjukkan hubungan antara nilai absorbansi sebagai sumbu y dan konsentrasi logam Cu sebagai sumbu x. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,9989, sehingga kurva standar Cu dapat dikatakan memiliki linearitas yang sangat baik. Nilai korelasi yang mendekati 1 menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi standar Cu

berbanding lurus dengan perubahan nilai absorbansi. Hal ini menandakan bahwa instrumen memberikan respons yang stabil dan proporsional terhadap larutan standar Cu yang digunakan.

Perhitungan kadar Cu pada sampel PKIV12 dapat ditunjukkan melalui substitusi nilai absorbansi ke dalam persamaan regresi linear sebagai berikut.

Kadar Cu pada sampel PKIV12

$y = 0{,}1997x + 0{,}0186$

$0{,}0067 = 0{,}1997x + 0{,}0186$

$0{,}1997x = 0{,}0067 - 0{,}0186$

$0{,}1997x = -0{,}0119$

$x = -0{,}0119 / 0{,}1997$

$x = -0{,}0599$ ppm

Berdasarkan perhitungan tersebut, konsentrasi Cu pada sampel PKIV12 sebesar −0,0599 ppm. Pada pengulangan berikutnya, konsentrasi Cu pada sampel yang sama diperoleh sebesar −0,0593 ppm. Jika dirata-ratakan, kadar Cu pada sampel PKIV12 berada sekitar −0,0596 ppm. Perhitungan kadar Cu pada sampel PKIV13 juga dilakukan dengan cara yang sama, yaitu menggunakan nilai absorbansi yang diperoleh dari hasil pembacaan instrumen.

Kadar Cu pada sampel PKIV13

$y = 0{,}1997x + 0{,}0186$

$0{,}0056 = 0{,}1997x + 0{,}0186$

$0{,}1997x = 0{,}0056 - 0{,}0186$

$0{,}1997x = -0{,}0130$

$x = -0{,}0130 / 0{,}1997$

$x = -0{,}0647$ ppm

Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Cu pada sampel PKIV13 sebesar −0,0647 ppm. Pada pengulangan berikutnya, konsentrasi Cu diperoleh sebesar −0,0641 ppm. Rata-rata kadar Cu pada sampel PKIV13 berada sekitar −0,0644 ppm.

Nilai konsentrasi Cu yang diperoleh pada kedua sampel menunjukkan angka negatif. Secara kimia, nilai negatif tidak menunjukkan bahwa logam Cu benar-benar bernilai negatif di dalam sampel. Nilai tersebut lebih tepat dipahami sebagai indikasi bahwa kadar Cu dalam sampel sangat rendah, bahkan berada di bawah respons blanko atau mendekati batas deteksi

metode. Hal ini terjadi karena nilai absorbansi sampel lebih kecil dibandingkan nilai intersep pada persamaan kurva kalibrasi. Pada persamaan Cu, nilai intersep sebesar 0,0186, sedangkan nilai absorbansi sampel hanya berada pada kisaran 0,0056–0,0068. Kondisi tersebut menyebabkan hasil perhitungan konsentrasi menjadi negatif.

Fenomena konsentrasi negatif dapat terjadi pada analisis instrumen ketika sinyal analit sangat kecil atau berada di bawah kemampuan deteksi alat. Faktor lain yang dapat memengaruhi hasil tersebut adalah fluktuasi sinyal instrumen, kondisi blanko, interferensi matriks sampel, atau konsentrasi logam yang memang sangat rendah. Oleh karena itu, hasil Cu sebaiknya tidak dimaknai sebagai kadar negatif, tetapi lebih tepat dilaporkan sebagai tidak terdeteksi atau berada di bawah batas deteksi, apabila nilai LOD dan LOQ metode tersedia.

Nilai %RSD pada pengujian Cu berkisar antara 1,49% hingga 5,71%. Nilai ini menunjukkan tingkat keterulangan hasil pengukuran. Sampel PKIV12 memiliki %RSD sebesar 4,90% dan 5,71%, sedangkan sampel PKIV13 memiliki %RSD sebesar 2,30% dan 1,49%. Secara umum, nilai RSD tersebut masih menunjukkan bahwa pembacaan instrumen relatif stabil, terutama pada sampel PKIV13 yang memiliki nilai RSD lebih rendah. RSD yang lebih rendah menunjukkan bahwa hasil pengukuran antarulangan lebih konsisten.

Jika dibandingkan dengan baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014, kadar maksimum Cu yang diperbolehkan adalah 3 mg/L. Karena 1 ppm setara dengan 1 mg/L pada larutan air, maka hasil pengujian Cu pada sampel PKIV12 dan PKIV13 berada jauh di bawah ambang batas tersebut. Dengan demikian, air limbah yang diuji dapat dikatakan masih memenuhi baku mutu untuk parameter Cu.

Hasil ini menunjukkan bahwa kandungan Cu dalam sampel air limbah sangat rendah. Rendahnya kadar Cu dapat mengindikasikan bahwa sampel tidak mengalami pencemaran signifikan oleh logam tembaga. Namun, untuk memastikan validitas hasil, terutama karena diperoleh nilai negatif, perlu dilakukan evaluasi terhadap batas deteksi metode, kualitas blanko, serta rentang konsentrasi standar yang digunakan. Penggunaan rentang standar yang lebih rendah dan lebih mendekati konsentrasi sampel dapat membantu meningkatkan ketelitian hasil pengukuran pada kadar logam yang sangat kecil.

2. Hasil dan Pembahasan Pengujian Seng (Zn)

Pengujian logam seng (Zn) pada sampel air limbah dilakukan menggunakan metode yang sama, yaitu Spektrofotometri Serapan Atom. Hasil pengujian Zn pada sampel PKIV12 dan PKIV13 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Logam Seng (Zn) pada Sampel Air Limbah

No.	Label Sampel	Konsentrasi (ppm)	%RSD	Mean Absorbansi
1	PKIV12	0,0433	0,80	0,0373
2	PKIV12	0,0426	0,63	0,0370
3	PKIV13	-0,0072	3,49	0,0160
4	PKIV13	-0,0069	0,69	0,0162

Berdasarkan kurva standar Zn, diperoleh persamaan regresi linear sebagai berikut.

$$y = 0{,}4204x + 0{,}0191$$

Nilai koefisien korelasi pada kurva standar Zn sebesar 0,9956. Nilai ini menunjukkan bahwa kurva standar Zn memiliki linearitas yang baik karena mendekati angka 1. Artinya, hubungan antara konsentrasi larutan standar Zn dan absorbansi bersifat proporsional. Semakin tinggi konsentrasi Zn dalam larutan standar, semakin tinggi pula absorbansi yang terbaca oleh instrumen.

Perhitungan kadar Zn pada sampel PKIV12 dilakukan dengan memasukkan nilai absorbansi ke dalam persamaan regresi linear.

Kadar Zn pada sampel PKIV12

$y = 0{,}4204x + 0{,}0191$

$0{,}0370 = 0{,}4204x + 0{,}0191$

$0{,}4204x = 0{,}0370 - 0{,}0191$

$0{,}4204x = 0{,}0179$

$x = 0{,}0179 / 0{,}4204$

$x = 0{,}0426$ ppm

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kadar Zn pada sampel PKIV12 sebesar 0,0426 ppm. Pada pengulangan lainnya, kadar Zn diperoleh sebesar 0,0433 ppm. Rata-rata kadar Zn pada sampel PKIV12 adalah sekitar 0,0430 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa sampel PKIV12 masih mengandung Zn, tetapi dalam konsentrasi yang sangat rendah.

Perhitungan kadar Zn pada sampel PKIV13 menghasilkan nilai yang berbeda. Nilai absorbansi sampel PKIV13 lebih rendah daripada nilai intersep kurva kalibrasi, sehingga konsentrasi yang dihasilkan bernilai negatif.

Kadar Zn pada sampel PKIV13

$y = 0{,}4204x + 0{,}0191$

$0{,}0160 = 0{,}4204x + 0{,}0191$

$0{,}4204x = 0{,}0160 - 0{,}0191$

$0{,}4204x = -0{,}0031$

x = −0,0031 / 0,4204

x = −0,0072 ppm

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kadar Zn pada sampel PKIV13 sebesar −0,0072 ppm. Pada pengulangan berikutnya, nilai konsentrasi yang diperoleh sebesar −0,0069 ppm. Jika dirata-ratakan, kadar Zn pada sampel PKIV13 berada sekitar −0,0071 ppm.

Berbeda dengan sampel PKIV12 yang masih menunjukkan nilai positif, sampel PKIV13 menghasilkan nilai konsentrasi Zn negatif. Nilai negatif ini terjadi karena absorbansi sampel PKIV13 berada pada kisaran 0,0160–0,0162, sedangkan intersep persamaan kurva standar Zn adalah 0,0191. Dengan demikian, nilai absorbansi sampel lebih kecil dibandingkan nilai intersep, sehingga hasil perhitungan konsentrasi menjadi negatif.

Hasil negatif pada sampel PKIV13 sebaiknya tidak ditafsirkan sebagai keberadaan Zn dalam jumlah negatif, tetapi sebagai tanda bahwa konsentrasi Zn dalam sampel sangat rendah dan kemungkinan berada di bawah batas deteksi metode. Pada kondisi seperti ini, pelaporan hasil sebaiknya dilengkapi dengan informasi LOD dan LOQ agar interpretasi data menjadi lebih kuat. Jika nilai LOD dan LOQ tersedia, hasil Zn pada sampel PKIV13 dapat dinyatakan sebagai di bawah batas deteksi atau tidak terdeteksi secara kuantitatif.

Nilai %RSD pada pengujian Zn berkisar antara 0,63% hingga 3,49%. Sampel PKIV12 menunjukkan %RSD sebesar 0,80% dan 0,63%, sedangkan sampel PKIV13 menunjukkan %RSD sebesar 3,49% dan 0,69%. Nilai RSD yang relatif kecil menunjukkan bahwa hasil pengukuran Zn memiliki keterulangan yang baik. Sampel PKIV12 memiliki tingkat presisi yang sangat baik karena kedua nilai RSD berada di bawah 1%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran Zn pada sampel PKIV12 lebih stabil dan konsisten.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014, baku mutu maksimum Zn dalam air limbah adalah 10 mg/L. Hasil pengujian Zn pada sampel PKIV12 sebesar ±0,0430 ppm atau ±0,0430 mg/L, sehingga masih jauh di bawah batas maksimum yang diperbolehkan. Sementara itu, hasil Zn pada sampel PKIV13 yang bernilai negatif menunjukkan bahwa kandungan Zn sangat rendah atau tidak terdeteksi secara kuantitatif. Dengan demikian, kedua sampel air limbah masih memenuhi baku mutu untuk parameter Zn.

Hasil pengujian Zn menunjukkan bahwa sampel air limbah tidak mengalami pencemaran seng yang signifikan. Kadar Zn yang sangat rendah dapat menunjukkan bahwa proses pengolahan air limbah telah berjalan cukup baik atau sumber pencemar Zn pada

sampel tersebut relatif kecil. Akan tetapi, karena terdapat hasil negatif pada sampel PKIV13, pengujian lanjutan tetap diperlukan untuk memastikan keandalan data. Perbaikan dapat dilakukan dengan memperhatikan kualitas blanko, kestabilan larutan standar, kebersihan alat gelas, serta kesesuaian rentang kurva kalibrasi dengan konsentrasi sampel.

3. Pembahasan Umum Hasil Pengujian Cu dan Zn

Secara umum, hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan logam Cu dan Zn pada sampel air limbah berada pada konsentrasi yang sangat rendah. Parameter Cu pada sampel PKIV12 dan PKIV13 menghasilkan nilai negatif, sedangkan parameter Zn hanya menunjukkan nilai positif pada sampel PKIV12. Sampel PKIV13 pada parameter Zn juga menghasilkan nilai negatif. Pola ini menunjukkan bahwa sebagian besar kandungan logam berat dalam sampel berada pada konsentrasi yang sangat kecil dan mendekati batas kemampuan deteksi instrumen.

Kurva kalibrasi Cu dan Zn menunjukkan linearitas yang baik, dengan koefisien korelasi masing-masing sebesar 0,9989 untuk Cu dan 0,9956 untuk Zn. Nilai tersebut menunjukkan bahwa metode SSA yang digunakan memiliki respons linear terhadap konsentrasi standar logam. Linearitas yang baik menjadi salah satu indikator penting bahwa metode analisis dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi logam secara kuantitatif.

Meskipun linearitas kurva standar sudah baik, hasil konsentrasi negatif pada beberapa sampel menunjukkan perlunya kehati-hatian dalam interpretasi data. Nilai negatif umumnya muncul ketika sinyal sampel lebih rendah daripada sinyal blanko atau lebih rendah dari nilai intersep kurva kalibrasi. Oleh sebab itu, hasil seperti ini tidak sebaiknya langsung ditulis sebagai kadar logam negatif, tetapi perlu diberi penjelasan bahwa konsentrasi logam berada di bawah batas deteksi atau sangat rendah.

Berdasarkan perbandingan dengan baku mutu lingkungan, seluruh hasil pengujian Cu dan Zn masih berada jauh di bawah ambang batas yang diperbolehkan. Baku mutu Cu sebesar 3 mg/L dan Zn sebesar 10 mg/L, sedangkan hasil pengujian menunjukkan kadar yang sangat kecil. Oleh karena itu, sampel air limbah yang diuji dapat dikategorikan memenuhi standar baku mutu untuk parameter logam Cu dan Zn.

Metode SSA terbukti dapat digunakan untuk menganalisis kandungan logam berat dalam air limbah karena mampu membaca konsentrasi logam pada tingkat rendah. Akan tetapi, untuk sampel dengan kadar logam yang sangat kecil, diperlukan pengendalian mutu analisis yang lebih ketat. Pengendalian tersebut meliputi penggunaan blanko yang bersih, larutan standar yang stabil, pengulangan pengukuran, serta penentuan nilai LOD dan LOQ.

Langkah tersebut penting agar hasil yang mendekati nol atau bernilai negatif dapat ditafsirkan secara lebih akurat.

Berdasarkan keseluruhan hasil, dapat disimpulkan bahwa kandungan Cu dan Zn dalam sampel air limbah PKIV12 dan PKIV13 masih rendah dan tidak melebihi baku mutu lingkungan. Nilai negatif yang muncul pada beberapa hasil pengujian bukan berarti terdapat konsentrasi logam negatif, tetapi menunjukkan bahwa kadar logam sangat rendah atau berada di bawah batas deteksi metode. Dengan demikian, metode SSA tetap relevan digunakan dalam pemantauan kualitas air limbah, khususnya untuk mendeteksi kandungan logam berat Cu dan Zn secara sensitif dan selektif.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) efektif digunakan untuk menganalisis kandungan logam berat tembaga (Cu) dan seng (Zn) dalam sampel air limbah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar Cu dan Zn berada pada konsentrasi sangat rendah dan masih jauh di bawah baku mutu lingkungan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014. Dengan demikian, sampel air limbah yang diuji tidak menunjukkan indikasi pencemaran berat oleh logam Cu dan Zn, sehingga metode SSA dapat digunakan sebagai metode analisis yang tepat dalam pemantauan kualitas air limbah.

DAFTAR PUSTAKA

Afifudin, A. F. M., Wulandari, A., & Irawanto, R. (2024). Pencemaran Logam Berat di Air, Sedimen, dan Organisme pada Beberapa Sungai di Pulau Jawa, Indonesia: Tinjauan Literatur. *Environmental Pollution Journal, 4*(1), 959–971. https://doi.org/10.58954/epj.v4i1.183

Ananda, M. (n.d.). *Narrative Review: Aplikasi Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) dalam Penetapan Kadar Logam pada Sediaan Farmasi*.

Budisafitri, D. B., Al Iyad, E. A., & Audica, N. H. (2024). Regulasi Hukum Lingkungan dalam Pencemaran Limbah Industri di Sungai Citarum: Kepatuhan Industri dan Dampaknya pada Lingkungan. *Politika Progresif: Jurnal Hukum, Politik dan Humaniora, 1*(3), 48–58. https://doi.org/10.62383/progres.v1i3.419

Falfushynska, H., Lewicka, K., & Rychter, P. (2024). Unveiling the hydrochemical and ecotoxicological insights of copper and zinc: Impacts, mechanisms, and effective remediation approaches. *Limnological Review, 24*(4), 406–436. https://doi.org/10.3390/limnolrev24040024

Garg, S., Chowdhury, Z. Z., Faisal, A. N. M., Rumjit, N. P., & Thomas, P. (2022). Impact of industrial wastewater on environment and human health. In S. Roy, A. Garg, S. Garg, & T. A. Tran (Eds.), *Advanced industrial wastewater treatment and reclamation of water: Comparative study of water pollution index during pre-industrial, industrial period and prospect of wastewater treatment for water resource conservation* (pp. 197–209). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83811-9_10

Graham, S., & Harris, K. R. (2023). The role and development of self-regulation in the writing process. In D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulation of learning and performance: Issues and educational applications* (pp. 203–228). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203763353-9

Haifa, A. H., Oktaviana, A. Y., & Kamal, U. (2024). Tantangan dan Solusi Pengelolaan Limbah Industri: Upaya Menuju Lingkungan yang Bersih dan Berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan, 10*(23), 1133–1139. https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/9313

Komalasari, N., Cahyadi, M. N., Muslim, B., Muafiry, I. N., Lestari, D. S., Tuasamu, S. A., Widjajanti, N., Aprianti, E., Kusumawardani, D., De Silva Nusantara, C. A., Rahmawati, Y., & Azizi, I. H. (2026). Analysis of plasma bubble phenomena and their geomagnetic dependencies using GNSS-TEC with 3D tomography investigation. *Journal of Applied Geodesy*. Advance online publication. https://doi.org/10.1515/jag-2025-0077

Mohd Zakaria, Z., Abdul Ghani, M. T., Atoh, N., Mei, S. Y., Muhamad Romli, T. R., Ramli, S., & Abdul Aziz, N. A. (2025). Development of alternative Arabic module level two primary school: A systematic literature review. *Al-Qanatir: International Journal of Islamic Studies, 34*(08), 70–88. https://doi.org/10.64757/alqanatir.2025.3408/1113

Movsisyan, N., Pyuskyulyan, K., Hovhannisyan, S., & Belyaeva, O. (2026). Predictive modeling of soil gas radon and multi-depth profiling of radionuclides in geologically complex city (Yerevan, Armenia). *Environmental Geochemistry and Health, 48*(5), Article 229. https://doi.org/10.1007/s10653-026-03109-8

Nurcahyani, N., & Asni, A. (2025). Analisis Kandungan Logam Berat pada Perairan di Kecamatan Morosi Kabupaten Konawe. *Masker Medika, 13*(2), 179–187. https://doi.org/10.52523/maskermedika.v13i2.804

Oladimeji, T. E., Oyedemi, M., Emetere, M. E., Agboola, O., Adeoye, J. B., & Odunlami, O. A. (2024). Review on the impact of heavy metals from industrial wastewater effluent and removal technologies. *Heliyon, 10*(23), Article e40370. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40370

Pirdaus, P., Rahman, M., Rinawati, Juliasih, N. L. G. R., Pratama, D., & Kiswandono, A. A. (2018). Verifikasi Metode Analisis Logam Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, dan Ba pada Air Menggunakan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). *Analit: Analytical and Environmental Chemistry, 3*(1), 1–10. https://doi.org/10.23960/aec.v3.i1.2018.p1-10

Purnawija, B. R., Yuliantini, A., & Rachmawati, W. (2021). Review: Analisis Zat Berbahaya pada Kosmetik Krim Pemutih dengan Metode AAS dan Spektrofotometri UV-VIS. *JOPS (Journal of Pharmacy and Science), 5*(1), 9–18. https://doi.org/10.36341/jops.v5i1.1923

Safiyah, W. O. S., Sarndika, S., & Fitriyana, F. (2026). Tingkat Kontaminasi dan Potensi Risiko Ekologis Logam Berat Besi (Fe) dan Merkuri (Hg) pada Sedimen di Perairan Selangan Kota Bontang Kalimnatan Timur. *Zoologi: Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu Perikanan, Ilmu Kedokteran Hewan, 4*(1), 26–33. https://doi.org/10.62951/zoologi.v4i1.290

Siddique, S., Ahsan, A., Azizi, N., & Haass, O. (2022). Students' workplace readiness: Assessment and skill-building for graduate employability. *Sustainability, 14*(3), Article 1749. https://doi.org/10.3390/su14031749

Sutarti, Fadillah, D. M., & Jarek, K. (2025). Dampak Pengolahan Air Limbah Industri terhadap Pencemaran Sungai: Sebuah Tinjauan Evaluasi Teknologi. *Eduscotech, 6*(1). https://journal.udn.ac.id/index.php/eduscotech/article/view/298