



E-ISSN 3032-601X & P-ISSN 3032-7105

Vol. 2, No. 3, Tahun 2025

MISTER

**Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science,
Technology and Educational Research**

**Jurnal Penelitian Multidisiplin dalam Ilmu
Pengetahuan, Teknologi dan Pendidikan**

**UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH
KOTA BANDA ACEH**

mister@serambimekkah.ac.id

Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science Technology
and Educational Research

Journal of MISTER

Vol. 2, No. 3, 2025

Pages : 3980–3986

Analisis Kuantitatif Kadar Tembaga (Cu) dalam Sampel Air Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

Linda Ekawati^{1*}, Syariful Maliki²

Teknologi Kimia Industri, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya,
Palembang, Indonesia¹

Teknik Kimia, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang,
Indonesia²

Article in Journal of MISTER

Available at : <https://jurnal.serambimekkah.ac.id/index.php/mister/index>

DOI : <https://doi.org/10.32672/mister.v2i3.3515>

How to Cite this Article

APA : Ekawati, L., & Maliki, S. . (2025). Analisis Kuantitatif Kadar Tembaga (Cu) dalam Sampel Air Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis . Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science, Technology and Educational Research, 2(3), 3980 – 3986. <https://doi.org/10.32672/mister.v2i3.3515>

Others Visit : <https://jurnal.serambimekkah.ac.id/index.php/mister/index>

MISTER: Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science, Technology and Educational Research is a scholarly journal dedicated to the exploration and dissemination of innovative ideas, trends and research on the various topics include, but not limited to functional areas of Science, Technology, Education, Humanities, Economy, Art, Health and Medicine, Environment and Sustainability or Law and Ethics.

MISTER: Journal of Multidisciplinary Inquiry in Science, Technology and Educational Research is an open-access journal, and users are permitted to read, download, copy, search, or link to the full text of articles or use them for other lawful purposes. Articles on Journal of MISTER have been previewed and authenticated by the Authors before sending for publication. The Journal, Chief Editor, and the editorial board are not entitled or liable to either justify or responsible for inaccurate and misleading data if any. It is the sole responsibility of the Author concerned.



ISSN 3032-7105

ISSN 3032-601X



Analisis Kuantitatif Kadar Tembaga (Cu) dalam Sampel Air Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

Linda Ekawati^{1*}, Syariful Maliki²

Teknologi Kimia Industri, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia¹

Teknik Kimia, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia²

*Email Korespondensi: linda.ekawati@polsri.ac.id

Diterima: 25-06-2025

| Disetujui: 30-06-2025

| Diterbitkan: 02-07-2025

ABSTRACT

The presence of copper metal (Cu^{2+}) in water needs to be analyzed because its concentration can affect the quality and safety of water, especially for consumption. This study aims to determine the levels of Cu^{2+} in various water samples using the UV-Vis spectrophotometry method with ammonia (NH_3) complexing. Copper ions form a blue complex $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ which is analyzed at a maximum wavelength of 615 nm. The calibration curve was obtained from a standard solution with the linear equation $y = 0.0016x + 0.0003$, which was used to calculate the concentration of Cu in water samples. The results of the analysis showed that the concentration of Cu in gallon water, bottled water, PDAM water, and well water I was still below the maximum limit of 2.0 mg/L set by the Indonesian Minister of Health Regulation No. 2 of 2023, while well water II had a Cu content of 6.688 ppm, exceeding the safe limit. Sources of Cu ions in water can come from weathering of rocks containing copper minerals or anthropogenic activities such as industrial waste. Excessive Cu content in the body has the potential to cause health problems. Therefore, water with high Cu levels requires further treatment, such as adsorption, ion exchange, or phytoremediation, before being used for consumption purposes.

Keywords: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ complex, Copper (Cu), UV-Vis spectrophotometry,

ABSTRAK

Keberadaan logam tembaga (Cu^{2+}) dalam air perlu dianalisis karena konsentrasinya dapat memengaruhi kualitas dan keamanan air, khususnya untuk konsumsi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kadar Cu^{2+} dalam berbagai sampel air menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan pengompleks ammonia (NH_3). Ion tembaga membentuk kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ berwarna biru yang dianalisis pada panjang gelombang maksimum 615 nm. Kurva kalibrasi diperoleh dari larutan standar dengan persamaan linear $y = 0,0016x + 0,0003$, yang digunakan untuk menghitung konsentrasi Cu dalam sampel air. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi Cu pada air galon, air kemasan, air PDAM, dan air sumur I masih berada di bawah batas maksimum 2,0 mg/L yang ditetapkan oleh Permenkes RI No. 2 Tahun 2023, sedangkan air sumur II memiliki kadar Cu sebesar 6,688 ppm, melebihi batas aman. Sumber ion Cu dalam air dapat berasal dari pelapukan batuan yang mengandung mineral tembaga maupun aktivitas antropogenik seperti limbah industri. Kandungan Cu berlebih dalam tubuh berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan. Oleh karena itu, air dengan kadar Cu tinggi memerlukan pengolahan lebih lanjut, seperti adsorpsi, penukaran ion, atau fitoremediasi, sebelum digunakan untuk keperluan konsumsi.

Katakunci: kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, spektrofotometri UV-Vis, Tembaga (Cu)

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan seperti kebutuhan untuk minum, pertanian, industri, perikanan sampai rekreasi (Dewi dkk., 2021). Sebesar 71% wilayah bumi terdiri dari perairan sedangkan pada tubuh manusia tersusun dari air dengan komposisi sebesar 50-65% dari berat badan (Iversen & Fogelholm, 2023). Terdapat dua jenis air yang dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun tidak langsung yaitu air permukaan dan air tanah, akan tetapi untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari manusia lebih banyak memanfaatkan air tanah yaitu air sumur (Amri, 2021).

Tembaga banyak digunakan pada aplikasi industri seperti pelapisan logam, pembuatan alat elektronik, dan pembuatan plastik (Wuana & Okieimen, 2011). Untuk meningkatkan hasil panen petani banyak menggunakan produk agrokimia, produk tersebut juga tak terlepas dari tembaga sebagai salah satu komponen penyusunnya seperti pada pupuk, pestisida, insektisida, herbisida, dan fungisida sehingga meningkatkan kemungkinan terakumulasinya tembaga pada tanah dan perairan (Husak, 2015).

Tembaga (Cu) merupakan salah satu unsur yang penting dalam kehidupan sehari-hari, sebagian besar unsur tembaga digunakan dalam bidang industri dan pertanian (Ab Hamid dkk., 2022). Selain memiliki banyak kegunaan tembaga sebagai logam berat memiliki dampak negatif salah satunya tembaga tidak dapat terdegradasi selain itu, sifat tembaga yang beracun dapat menyebabkan penyakit kanker, rusaknya sistem syaraf dan kerusakan ginjal. Tembaga juga memiliki sifat mudah terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup sehingga dapat meningkatkan kemungkinan akibat fatal terhadap tubuh jika terakumulasi dalam konsentrasi yang tinggi (Ab Hamid dkk., 2022).

Masuknya tembaga ke dalam air tanah dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan antara lain adanya aktivitas industri, aktivitas pertambangan, maupun aktivitas pertanian yang dapat menyebabkan terlarutnya logam Cu sehingga dapat masuk ke dalam air tanah. Selain disebabkan oleh aktivitas manusia, masuknya ion Cu dalam air tanah juga dapat terjadi secara alami dari aktivitas pelapukan beberapa jenis batuan yang terdapat di dalam tanah. Batuan seperti kalkopirit (CuFeS_2), bornit (Cu_5FeS_4), dan malasit ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) dapat melepaskan Cu^{2+} ke dalam air tanah (Zhang dkk., 2019).

Menurut Permenkes no 2 tahun 2023, kadar Cu yang diperbolehkan dalam air minum memiliki ambang batas sebesar 2 mg/L (2 ppm). Oleh karena itu, penting untuk menganalisis kadar Cu dalam air terutama air minum. Terdapat beberapa macam metode untuk penentuan kadar Cu dalam sampel air seperti AAS (Aini dkk., 2022). Menurut Liang dkk., (2024) metode spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk menganalisis kadar Cu dengan konsentrasi rendah. Pada penelitian tersebut dengan metode Spektrofotometer UV Vis mampu menganalisis kadar Cu dengan konsentrasi 0,5-5 mg/L. Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu metode deteksi adanya logam dalam larutan berdasarkan penyerapan cahaya oleh suatu molekul pada Panjang gelombang tertentu (Altunay, 2018) dan (Mörschbacher dkk., 2018). Terdapat beberapa pengompleks yang dapat digunakan untuk deteksi Cu dalam sampel air seperti 2,9-dimetil-1,10-fenantrolin dan natrium dietilditiokarbamat, akan tetapi pengompleks tersebut sulit untuk diperoleh dan memiliki harga yang mahal (Sliwa dkk., 2016), (Pratiwi & Sunarto, 2018). Pembentukan kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ yang memiliki warna biru dapat dimanfaatkan untuk analisis kadar Cu menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 615 nm (Guspita & Ulianas, 2020). Sehingga dalam penelitian ini memanfaatkan pembentukan kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ yang merupakan reaksi ion Cu^{2+} dengan ammonia untuk penentuan kadar tembaga dalam sampel air menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis.

METODE PENELITIAN

Analisis kadar Cu dalam sampel air dilakukan menggunakan metode Spektrofotometri UV-Vis. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Sampel air diambil dari berbagai sumber yaitu air galon, air kemasan, air sumur serta air PDAM yang digunakan di wilayah Palembang.

Alat

Peralatan yang digunakan antara lain Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu, kuvet, peralatan gelas dasar seperti gelas ukur, erlenmeyer, pipet ukur, corong kaca dan pipet *pump*.

Bahan

Bahan yang diperlukan untuk mengetahui kadar Cu dalam sampel air antara lain sampel air, ammonia (NH_3), asam sulfat (H_2SO_4) dengan kualitas p.a, garam tembaga sulfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), serta akuades.

Metode

Penentuan kadar Cu dalam sampel air menggunakan spektrofotometer UV Vis dilakukan dengan beberapa tahap seperti:

1. Pembuatan larutan standar

Larutan standar CuSO_4 diperoleh dengan cara melarutkan 3,927 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang ditambah dengan 5 mL H_2SO_4 dalam volume 500 mL. Larutan yang diperoleh digunakan sebagai larutan induk. Larutan induk kemudian diencerkan sehingga diperoleh larutan Cu dengan konsentrasi 1-5 ppm. Masing-masing larutan standar dibuat dengan volume 100 mL dan penambahan 5 mL NH_3 .

2. Preparasi sampel

Sampel yang akan diukur kadar Cu bersumber dari air galon, air, sir kemasan, air sumur dan air PDAM setempat. Sampel air terlebih dahulu disaring menggunakan kertas saring untuk meminimalisir adanya pengotor yang dapat mengganggu pembacaan nilai absorbansi. Pada tabung ukur 100 mL dimasukkan sampel air kemudian ditambahkan dengan 5 mL NH_3 dan ditandabatkan menggunakan sampel air.

3. Penentuan panjang gelombang maksimum

Panjang gelombang maksimum diperoleh dengan membaca nilai absorbansi larutan standar dengan konsentrasi 3 ppm pada panjang gelombang 400-800 nm. Panjang gelombang yang memberikan nilai absorbansi maksimum digunakan sebagai nilai panjang gelombang maksimum.

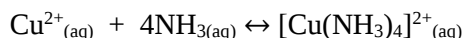
4. Penentuan nilai absorbansi sampel

Sampel yang telah disiapkan pada tahap sebelumnya dianalisis nilai kadar Cu dengan membeaca nilai absorbansi sampel pada panjang gelombang maksimum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adanya logam tembaga pada sampel air perlu diketahui mengingat besarnya kadar tembaga dalam air akan memengaruhi kualitas air terlebih jika air tersebut akan digunakan sebagai air minum. Metode analisis kadar Cu dapat dilakukan menggunakan spektrofotometer UV Vis menggunakan pengompleks

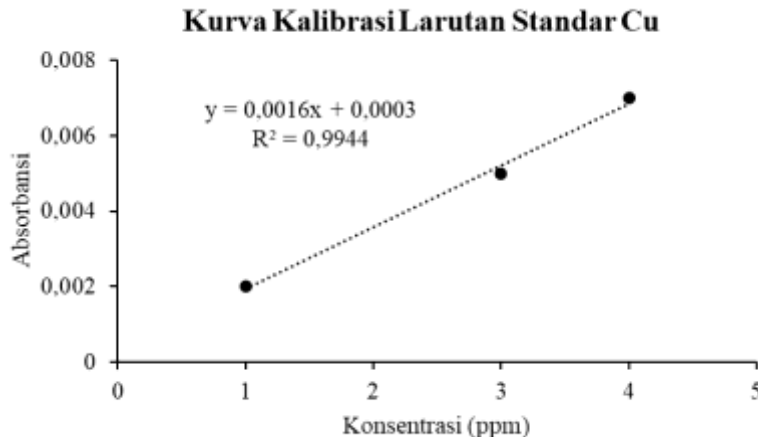
NH₃. Penentuan kadar Cu dalam sampel air dilakukan berdasarkan nilai persamaan linear larutan standar. Analisis kadar Cu dalam sampel air diketahui dengan terbentuknya kompleks ion . Persamaan kimia antara ion tembaga dan ammonia terdapat pada persamaan berikut:



Kompleks yang terbentuk memiliki warna biru sehingga dapat dianalisis pada panjang gelombang maksimum 615 nm (Guspita & Ulianas, 2020). Hasil pembacaan nilai absorbansi pada larutan standar terdapat pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1. Nilai absorbansi larutan standar tembaga	
Konsentrasi larutan Cu standar (ppm)	Absorbansi
1	0,002
3	0,005
4	0,007

Nilai konsentrasi Cu²⁺ dapat dihitung menggunakan persamaan linier yang dihasilkan dari pengukuran nilai absorbansi dari larutan standar. Persamaan linear yang dihasilkan memiliki bentuk $y = ax + b$, dengan nilai x adalah nilai konsentrasi, a dan b masing-masing adalah slope dan intersep persamaan linear. Nilai absorbansi sampel yang diperoleh dari analisis kemudian diinterpolasikan pada persamaan yang diperoleh pada nilai y. Dari data nilai absorbansi dan konsentrasi larutan standar Cu maka dapat dibuat kurva kalibrasi. Kurva ini diperoleh dengan memplot nilai konsentrasi pada sumbu x dan absorbansi pada nilai y, sehingga diperoleh kurva pada **Gambar 1** bawah ini:



Gambar 1. Kurva kalibrasi larutan standar Cu

Nilai persamaan linear yang diperoleh dari kurva di atas adalah $y = 0,0016x + 0,0003$. Nilai persamaan ini digunakan untuk mengetahui nilai konsentrasi Cu pada sampel. Nilai absorbansi sampel dimasukkan sebagai nilai y sehingga dapat diperoleh nilai x sebagai nilai konsentrasi Cu pada masing-masing sampel.

Tabel 2. Konsentrasi Cu dalam sampel

Sampel	Keterangan sampel	Absorbnansi	Konsentrasi (ppm)
1	Air Galon	0,000	0,000
2	Air kemasan	0,001	0,438
3	Air PDAM	0,003	1,688
4	Air sumur I	0,003	1,688
5	Air sumur II	0,011	6,688

Berdasarkan Tabel 2 di atas sampel yang dianalisis memiliki kadar Cu pada rentang 1-7 ppm. Menurut Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 tentang Standar Kualitas Air Minum, batas maksimal kadar Cu sebesar 2,0 mg/L. Sehingga untuk sampel air galon, air kemasan, air PDAM, serta air sumur I masih dibawah nilai ambang batas sedangkan konsentrasi Cu pada sampel air sumur II berada di atas batas yang diperoleh. Pemanfaatan air galon, air kemasan, air PDAM, dan air sumur I untuk pemenuhan kebutuhan air sehari-hari masih terolong aman kecuali untuk sampel air sumur II. Air sumur tersebut tidak dapat digunakan secara langsung melainkan diperlukan pengolahan air terlebih dahulu untuk mengurangi kadar Cu dalam air sehingga tidak menimbulkan efek kesehatan bagi yang mengkonsumsi.

Keberadaan Cu dapat diturunkan dengan beberapa metode seperti adsorpsi baik menggunakan adsorben alami maupun sintesis (Mallik dkk., 2022). Selain itu menurut Nassef & El-Taweel (2015) metode penurunan kadar Cu yang memiliki biaya murah dan mudah adalah sementasi. Selain itu, metode penyaringan menggunakan membran juga merupakan metode yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar tembaga dalam perairan (Krason & Pietrzak, 2018). Metode lain yang dapat dikembangkan untuk mengurangi adanya Cu dalam perairan adalah elektrokimia, fotokatalis, fitoremediasi maupun bioremediasi (K

artal, 2025); (Ridho, 2021); (Espada dkk., 2024); dan (Palanivel dkk., 2023).

KESIMPULAN

Kandungan logam Cu dalam beberapa sampel air dapat dianalisis dengan cara pembentukan kompleks Cu dengan NH_3 . Kompleks yang terbentuk kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 615 nm. Sampel yang digunakan memiliki kadar Cu sebesar 0-6,688 ppm. Berdasarkan Permenkes No 2 tahun 2023, sampel air galon, air kemasan, air PDAM, dan air sumur I memiliki kadar Cu di bawah ambang batas sedangkan sampel air sumur II memiliki kadar Cu diatas ambang batas sehingga diperlukan upaya penurunan kadar Cu agar dapat dimanfaatkan untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Ab Hamid, N. H., bin Mohd Tahir, M. I. H., Chowdhury, A., Nordin, A. H., Alshaikh, A. A., Suid, M. A., Nazaruddin, N., 'Izzah, Nozaizeli, N. D., Sharma, S., & Rushdan, A. I. (2022). The Current State-Of-Art of Copper Removal from Wastewater: A Review. *Water (Switzerland)*, 14(19), 1–15. <https://doi.org/10.3390/w14193086>
- Aini, S., Alfian, Z., & Agusnar, H. (2022). Analysis of the Copper (Cu), Chromium (Cr), and Manganese (Mn) Levels from the Steel Industry Liquid Waste by Atomic Absorption Spectrophotometry Method. *Journal of Chemical Natural Resources*, 4(1), 72–76. <https://doi.org/10.32734/jcnar.v4i1.10502>

- Altunay, N. (2018). Development of vortex-assisted ionic liquid-dispersive microextraction methodology for vanillin monitoring in food products using ultraviolet-visible spectrophotometry. *LWT-Food Science and Technology*, 93, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.021>
- Amri, M. A. (2021). Pengaruh Air Permukaan terhadap Air Tanah berdasarkan Data Muka Air Tanah Dangkal Daerah Danau Sunter dan Sekitarnya. *PETRO:Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 10(3), 176–179. <https://doi.org/10.25105/petro.v10i3.10828>
- Dewi, L., Hadisoebroto, G., & Anwar, K. (2021). Penentuan Kadar Logam Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Pada Sumber Air Di Kawasan Gunung Salak Kabupaten Sukabumi Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Sabdariffarma*, 9(2), 15–24. <https://doi.org/10.53675/jsfar.v3i2.393>
- Espada, J. J., Rodríguez, R., Delgado, A., Vicente, G., & Bautista, L. F. (2024). Assessing Environmental Sustainability of Phytoremediation to Remove Copper from Contaminated Soils. *Sustainability (Switzerland)*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/su16062441>
- Guspita, D., & Ulianas, A. (2020). Optimization of complex NH_3 with Cu^{2+} ions to determine levels of ammonia by UV-Vis spectrophotometer. *Journal of Physics: Conference Series*, 1481(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012040>
- Husak, V. (2015). Copper and Copper-Containing Pesticides: Metabolism, Toxicity and Oxidative Stress. *Journal of Vasyk Stefanyk Precarpathian National University*, 2(1), 38–50. <https://doi.org/10.15330/jpnu.2.1.38-50>
- Iversen, P. O., & Fogelholm, M. (2023). Fluid and water balance: a scoping review for the Nordic Nutrition Recommendations 2023. *Food and Nutrition Research*, 67(1), 1–5. <https://doi.org/10.29219/fnr.v67.9975>
- Kartal, L. (2025). Selective Removal of Copper from Nickel – Copper Leach Solution by Electrolysis Cells with High Convection. *Metals*, 15(432), 1–15.
- Krason, J., & Pietrzak, R. (2018). Removal of Iron and Copper Ions from the Liquid Phase by Modified Polymeric Membranes. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(8), 3237–3242. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1201-z>
- Liang, Q., Jiang, L., Zheng, J., & Duan, N. (2024). Determination of High Concentration Copper Ions Based on Ultraviolet—Visible Spectroscopy Combined with Partial Least Squares Regression Analysis. *Processes*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/pr12071408>
- Mallik, A. K., Kabir, S. F., Bin Abdur Rahman, F., Sakib, M. N., Efty, S. S., & Rahman, M. M. (2022). Cu(II) removal from wastewater using chitosan-based adsorbents: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(4), 108048. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108048>
- Mörschbacher, A. P., Dullius, A., Dullius, C. H., Bandt, C. R., Kuhn, D., Brietzke, D. T., Malmann Kuffel, F. J., Etgeton, H. P., Altmayer, T., Gonçalves, T. E., Oreste, E. Q., Ribeiro, A. S., de Souza, C. F. V., & Hoehne, L. (2018). Validation of an analytical method for the quantitative determination of selenium in bacterial biomass by ultraviolet–visible spectrophotometry. *Food Chemistry*, 255(September 2017), 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.057>
- Nassef, E., & El-Taweel, Y. (2015). Removal of Copper From Wastewater By Cementation From Simulated Leach Liquors. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 06(01), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000214>
- Palanivel, T. M., Pracejus, B., & Novo, L. A. B. (2023). Bioremediation of copper using indigenous fungi *Aspergillus* species isolated from an abandoned copper mine soil. *Chemosphere*, 314(October 2022), 137688. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137688>
- Pratiwi, N. A., & Sunarto. (2018). Perbandingan Validasi Metode Analisis Ion Tembaga(II) tanpa Pengompleks dan dengan Pengompleks Na-Dietilditiokarbamat secara Spektrofotometri UV-Vis. II, 96–105.
- Ridho, R. (2021). Aplikasi Fotokatalis Tio_2 -Resin Pada Fotoreduksi Ion Cu^{2+} . *Jurnal Crystal : Publikasi Penelitian Kimia Dan Terapannya*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.36526/jc.v3i1.1424>

- Sliwa, E. I., ´Sliwi ´nska-Hill, U., Ba´zanów, B., Siczek, M., Klak, J., & Smolenski, P. (2016). Synthesis, Structural, and Cytotoxic Properties of New Water-Soluble Copper(II) Complexes Based on 2,9-Dimethyl-1,10-Phenanthroline and Their One Derivative Containing 1,3,5-Triaza-7-Phosphaadamantane-7-Oxide. *Molecules*, 25(741), 1–20.
- Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*, 1–20. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>
- Zhang, Y., Zhao, H., Zhang, Y., Qian, L., Zhang, L., Meng, X., Lv, X., Abhilash, Janjua, H. A., & Qiu, G. (2019). Interactions Between Marmatite And Bornite During The Oxidative Dissolution Process In Abiotic And Biotic Systems. *RSC Advances*, 9(46), 26609–26618. <https://doi.org/10.1039/c9ra03658j>