

Identifikasi Kandungan Tembaga (Cu) pada Batuan Tambang Emas Tradisional di Sumbawa melalui Metode Kopresipitasi dan Spektrofotometri Serapan Atom

Muhammad Nur*, Sukainil Ahzan, Dwi Pangga

Fakultas Sains, Teknik dan Terapan, Universitas Pendidikan Mandalika. Jl. Pemuda No. 59A Mataram, Indonesia

Received: January 2023

Revised: April 2023

Published: May 2023

Corresponding Author:

Name*: Muhammad Nur

Email*: mnursan93@gmail.com



<https://doi.org/10.36312/mj.v2i1.2741>

© 2023 The Author/s. This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) License.



Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan tembaga (Cu) pada batuan dari lokasi tambang emas rakyat di Pulau Sumbawa sebagai dasar eksplorasi logam sekunder yang potensial. Urgensi studi ini berangkat dari minimnya data sistematis mengenai keberadaan logam selain emas di lokasi penambangan tradisional, padahal logam-logam tersebut, khususnya tembaga, memiliki nilai ekonomis dan potensi risiko lingkungan. Tiga sampel batuan diambil dari lokasi Olat Pakirum, Upak, dan Labaong, lalu dianalisis menggunakan metode kopresipitasi untuk preparasi sampel, dan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry) untuk kuantifikasi kandungan Cu. Hasil menunjukkan bahwa batuan dari Pakirum memiliki kandungan Cu sebesar 1063,93 ppm (sekitar 1,06%), yang berada dalam kisaran nilai ekonomis. Sebaliknya, Upak dan Labaong masing-masing memiliki kandungan 86,54 ppm dan 6,71 ppm. Warna filtrat dan residu dari proses kopresipitasi juga memberikan indikasi visual yang konsisten dengan hasil AAS. Studi ini menegaskan bahwa lokasi Pakirum memiliki potensi eksplorasi tembaga yang layak dikembangkan lebih lanjut secara ilmiah dan ekonomis.

Kata Kunci: Tembaga (Cu); Tambang Emas Rakyat; Kopresipitasi; AAS; Eksplorasi Mineral

Identification of Copper (Cu) Content in Artisanal Gold Mining Rocks from Sumbawa Using Co-precipitation Method and Atomic Absorption Spectrophotometry

Abstract: This study aims to identify the copper (Cu) content in rocks from artisanal gold mining sites in Sumbawa Island, Indonesia, as a basis for evaluating the potential of secondary metal exploration. The urgency arises from the lack of systematic data on non-gold metals in traditional mining areas, despite their economic value and potential environmental risks. Rock samples were collected from Olat Pakirum, Upak, and Labaong, then analyzed using the co-precipitation method for sample preparation and Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) for Cu quantification. Results revealed that the Pakirum sample contained 1063.93 ppm Cu (approximately 1.06%), falling within the economically viable range. In contrast, samples from Upak and Labaong contained 86.54 ppm and 6.71 ppm respectively. Filtrate and residue colors from the co-precipitation process also visually supported the AAS findings. This study confirms that the Pakirum site holds a significant potential for copper exploration, warranting further scientific and economic development.

Keywords: Copper (Cu); Artisanal Gold Mining; Co-precipitation; AAS; Mineral Exploration

PENDAHULUAN

Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam transisi yang memainkan peran krusial dalam mendukung pembangunan infrastruktur, teknologi komunikasi, dan transisi energi bersih. Dengan konduktivitas listrik dan termal yang sangat tinggi serta ketahanan terhadap korosi, tembaga digunakan secara luas dalam berbagai sektor, termasuk sistem kelistrikan, kendaraan listrik, industri elektronik, dan energi

How to Cite:

Nur, M., Ahzan, S., & Pangga, D. (2023). Identifikasi Kandungan Tembaga (Cu) pada Batuan Tambang Emas Tradisional di Sumbawa melalui Metode Kopresipitasi dan Spektrofotometri Serapan Atom. *Multi Discere Journal*, 2(1), 43-53. <https://doi.org/10.36312/mj.v2i1.2741>

terbarukan seperti turbin angin dan panel surya (Blundy et al., 2021; Hammarstrom, 2022). Permintaan global terhadap logam ini terus meningkat, terutama sebagai respons terhadap kebutuhan energi rendah karbon dan elektrifikasi transportasi. Di berbagai belahan dunia, ketersediaan tembaga umumnya berasosiasi dengan sistem mineralisasi epitermal dan porfiri, yang juga sering menjadi target utama dalam eksplorasi emas (Leys et al., 2020; Verdiansyah et al., 2021). Dengan demikian, wilayah yang kaya akan emas – seperti Indonesia bagian timur – secara geologis juga memiliki potensi signifikan terhadap ketersediaan tembaga sebagai logam ikutan atau sekunder.

Pulau Sumbawa, di Provinsi Nusa Tenggara Barat, merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas penambangan emas rakyat yang tinggi. Penambangan dilakukan oleh masyarakat lokal menggunakan teknik sederhana, umumnya tanpa eksplorasi mineralogi yang sistematis. Aktivitas ini terutama berfokus pada emas, meskipun beberapa kajian geologi dan mineralogi mengindikasikan adanya potensi logam-logam lain yang berasosiasi, seperti tembaga dan perak, yang belum banyak diteliti (Aldan et al., 2022; Sulaksono et al., 2021). Studi mengenai Prospek Kumbokarno di Sumatra, misalnya, menunjukkan bahwa sistem urat dan zona alterasi hidrotermal yang mendominasi wilayah-wilayah ini mengandung potensi gabungan emas-tembaga yang tinggi, terutama pada lingkungan mineralisasi bertipe high-sulfidation (Burrows et al., 2020). Fenomena serupa sangat mungkin terjadi di Sumbawa, namun belum banyak data yang mendokumentasikan kandungan Cu dalam batuan dari lokasi tambang rakyat, yang merupakan kesenjangan penelitian (research gap) yang signifikan.

Minimnya data sistematis terkait kandungan Cu di wilayah tersebut tidak hanya menghambat pemanfaatan potensi ekonomis logam tersebut, tetapi juga berimplikasi pada aspek kesehatan dan lingkungan. Beberapa studi menunjukkan bahwa logam berat, termasuk Cu, dapat terakumulasi dalam tanah, air, dan tanaman di sekitar lokasi tambang, serta berpotensi menimbulkan paparan toksik terhadap manusia (Kagambèga et al., 2023; Cui et al., 2023). Sementara isu lingkungan dari tambang emas rakyat umumnya berpusat pada kontaminasi merkuri dan arsenik, tembaga justru sering terabaikan dalam survei-survei lapangan (Sylvain et al., 2020; Tampushi et al., 2021). Padahal, konsentrasi Cu yang melebihi ambang batas tertentu juga dapat menimbulkan efek toksik jangka panjang. Oleh karena itu, kajian yang mengukur kandungan Cu dalam batuan tambang rakyat sangat penting untuk membangun basis data awal terkait potensi ekonomi sekaligus dampak lingkungannya.

Selain berperan dalam konteks keberlanjutan lingkungan, kajian kandungan Cu juga relevan untuk meningkatkan nilai ekonomi dari penambangan rakyat. Studi terbaru menunjukkan bahwa tailing tambang emas sering mengandung Cu dalam jumlah signifikan yang masih dapat diekstraksi dan dimanfaatkan secara ekonomis (Uwizeyimana et al., 2022; Drobe et al., 2021). Pemanfaatan kembali logam-logam sisa dari tailing atau batuan sisa galian tidak hanya memberikan peluang pendapatan tambahan bagi penambang, tetapi juga mengurangi beban limbah dan meningkatkan efisiensi sumber daya. Di Rwanda, misalnya, penerapan metode pengolahan mekanis dalam tambang rakyat telah meningkatkan yield logam seperti Cu dari tailing secara substansial (Uwizeyimana et al., 2022). Pengalaman ini menunjukkan bahwa eksplorasi Cu dari tambang rakyat memiliki prospek yang menjanjikan apabila didukung dengan data dan teknologi yang tepat.

Dalam upaya mengukur kadar tembaga secara akurat, metode kopresipitasi merupakan salah satu pendekatan yang efektif, efisien, dan banyak digunakan dalam ekstraksi serta pemisahan ion logam dari larutan. Proses ini melibatkan penambahan pereaksi untuk membentuk endapan bersama (co-precipitate) yang mengandung logam target seperti Cu^{2+} , dalam kondisi yang dikendalikan seperti pH, suhu, dan konsentrasi (Quiton et al., 2022; Aboulaich et al., 2022). Kopresipitasi telah terbukti mampu menghasilkan senyawa logam dalam bentuk serbuk halus hingga skala nano,

yang cocok untuk analisis lanjut serta berguna dalam pemurnian logam dari limbah industri dan baterai bekas (Tran et al., 2022). Teknik ini juga berperan dalam pengelolaan limbah dan remediasi lingkungan karena kemampuannya menurunkan mobilitas dan bioavailabilitas logam berat dalam sistem perairan (Redwan & Elhaddad, 2020; Sidoruk, 2023).

Setelah tahap kopresipitasi, analisis konsentrasi tembaga dilakukan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS), instrumen yang dikenal karena sensitivitas dan presisinya dalam mendeteksi logam pada tingkat jejak (Godirilwe et al., 2021; Turabdzhanov et al., 2019). AAS digunakan secara luas dalam studi geokimia, lingkungan, serta pertambangan karena mampu memberikan data kuantitatif yang dapat diandalkan. Selain itu, AAS juga menjadi alat penting dalam menilai tingkat kontaminasi logam berat dalam ekosistem tambang dan sekitarnya, yang mendukung aspek pemantauan dan pengelolaan risiko lingkungan (Flores et al., 2020; Cruz et al., 2022). Dengan demikian, kombinasi metode kopresipitasi dan AAS menjadi pasangan yang tepat untuk mengevaluasi kandungan Cu dalam batuan dari lokasi pertambangan rakyat, baik dari aspek eksploratif maupun ekologis.

Penelitian ini mengambil lokasi dari tiga titik tambang emas rakyat di Pulau Sumbawa, yaitu: Lubang Olat Pakirum di Kelurahan Sampir, Sumbawa Barat; Lubang Upak di Desa Mapin Rea, Kecamatan Alas Barat; dan Lubang Olat Labaong di Kecamatan Lape. Ketiga lokasi ini dipilih karena merupakan daerah dengan aktivitas pertambangan aktif dan menunjukkan variasi kondisi geologi permukaan yang relevan untuk studi kandungan Cu. Berdasarkan pertimbangan terbatasnya data eksplorasi sistematis di wilayah ini, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengukur kandungan tembaga (Cu) dalam batuan dari lokasi tambang emas rakyat di Sumbawa menggunakan metode kopresipitasi dan AAS. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi basis untuk mengevaluasi potensi eksplorasi logam sekunder yang berkelanjutan, serta membuka peluang ekonomi baru dari logam yang selama ini kurang diperhatikan dalam sistem penambangan rakyat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan utama: pengambilan sampel batuan dari lokasi tambang emas tradisional, preparasi dan perlakuan sampel dengan metode kopresipitasi, serta pengujian kandungan tembaga (Cu) menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika IKIP Mataram dan Laboratorium Kimia Analitik Universitas Mataram.

Lokasi dan Pengambilan Sampel

Sampel batuan diambil dari tiga lokasi pertambangan emas tradisional di Pulau Sumbawa: (1) Lubang Olat Pakirum di Kelurahan Sampir, Kecamatan Taliwang, Sumbawa Barat; (2) Lubang Upak di Desa Mapin Rea, Kecamatan Alas Barat, Sumbawa; dan (3) Lubang Olat Labaong di Desa Hijrah, Kecamatan Lape, Sumbawa. Masing-masing sampel diambil secara acak dari kedalaman 1–2 meter dan disimpan dalam wadah steril untuk mencegah kontaminasi silang.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi: palu geologi, mortar baja, pengayak mesh 200, magnetic stirrer, oven, termometer, stopwatch, neraca analitik Ohaus, kertas saring Whatman No. 42, gelas kimia, pipet, dan AAS (Shimadzu AA-7000). Bahan kimia yang digunakan terdiri atas: larutan HCl 32% sebagai pelarut awal, larutan NH₄OH 25% sebagai agen pengendap, serta aquades sebagai pelarut netral. Semua bahan kimia yang digunakan bersifat analitik grade.

Preparasi Sampel dan Proses Kopresipitasi

Sampel batuan dihancurkan dan digerus hingga menjadi serbuk halus menggunakan mortar baja, kemudian disaring hingga lolos ayakan 200 mesh.

Sebanyak 1 gram serbuk batuan dilarutkan dalam 10 mL HCl 32% dan diaduk selama 20 menit menggunakan magnetic stirrer pada suhu 60°C untuk melarutkan ion-ion logam. Selanjutnya, larutan dititrasi secara perlahan dengan NH₄OH 25% hingga mencapai pH 9, berdasarkan hasil studi yang menunjukkan bahwa efisiensi pengendapan Cu(OH)₂ meningkat pada rentang pH 8–10 (Tpyc et al., 2021; Quiton et al., 2022).

Proses pengendapan dilakukan pada suhu 70–80°C selama 1 jam untuk mempercepat laju reaksi dan meningkatkan kemurnian presipitat (Kamariah et al., 2023). Endapan yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42 dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 4 jam untuk menghilangkan sisa kelembapan. Residu kering kemudian disimpan dalam desikator hingga siap dianalisis.

Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dengan AAS

Kuantifikasi kandungan Cu dilakukan dengan AAS menggunakan metode kurva kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan larutan standar Cu dengan konsentrasi 10, 25, 50, 75, dan 100 µg/L, sesuai rekomendasi untuk pengukuran logam berat dalam sampel lingkungan (Tudosie et al., 2021; Oliveira et al., 2019). Penggunaan larutan standar campuran dan kontrol kosong dilakukan untuk mengurangi efek matriks dan meningkatkan akurasi. AAS dijalankan pada panjang gelombang 324,8 nm dengan batas deteksi <1 µg/L dan variasi koefisien (C-V) pengukuran antar-replikasi <5%, yang menunjukkan akurasi dan presisi tinggi (Oliveira et al., 2019).

Setiap sampel diuji sebanyak tiga kali (triplikat) untuk memastikan reproduktibilitas hasil. Hasil diolah secara statistik menggunakan rata-rata dan standar deviasi. Replikasi ini juga berfungsi sebagai bagian dari kontrol kualitas, sesuai praktik terbaik dalam kimia analitik (Karaboduk, 2019). Semua alat dikalibrasi sebelum digunakan, dan pelarutan serta pengendapan dilakukan dalam kondisi tertutup untuk menghindari kontaminasi silang.

Validasi Data

Validasi dilakukan melalui uji ulang terhadap satu sampel acak dari masing-masing lokasi menggunakan larutan standar referensi sebagai kontrol eksternal. Partisipasi dalam uji banding antar-laboratorium tidak dilakukan dalam studi ini, namun prosedur yang digunakan mengacu pada protokol standar dalam analisis logam berat (Oliveira et al., 2019). Koherensi hasil antar-replikasi digunakan sebagai parameter utama dalam validasi internal, di mana koefisien variasi <10% dianggap memenuhi syarat kelayakan analitik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Tembaga Berdasarkan AAS

Pengukuran kandungan tembaga (Cu) dalam sampel batuan dilakukan menggunakan teknik Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) dengan pendekatan kurva kalibrasi sebagai dasar kuantifikasi. Hasil pengujian konsentrasi Cu untuk masing-masing sampel batuan dari tiga lokasi penambangan emas rakyat di Sumbawa disajikan dalam Tabel 1.

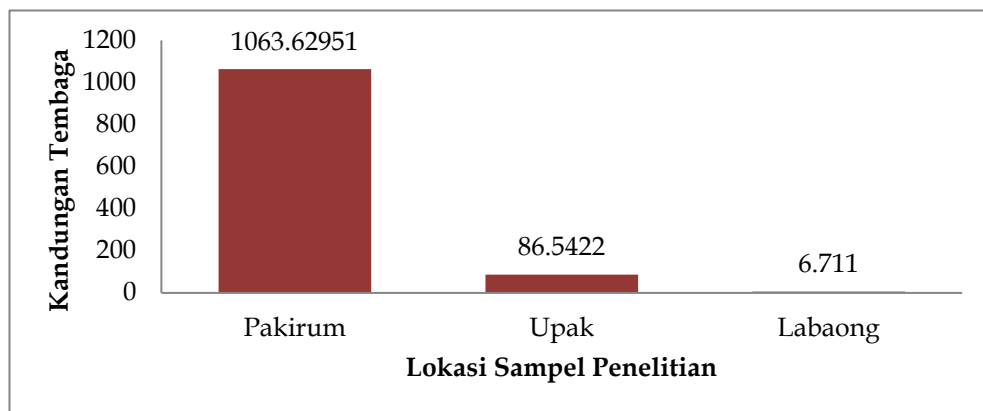
Tabel 1. Kandungan Tembaga dalam Sampel Batuan Sumbawa

Sampel Batuan	Massa (g)	Kandungan Tembaga (ppm)
Pakirum	1,0043	1063,9251
Upak	1,0024	86,5422
Labaong	1,0058	6,7110

Hasil ini menunjukkan bahwa batuan dari lokasi Olat Pakirum memiliki kandungan tembaga yang sangat tinggi, mencapai 1063,9251 ppm atau sekitar 1,06%.

Nilai ini secara langsung melampaui batas bawah dari ambang ekonomi yang digunakan dalam industri pertambangan, yakni berkisar antara 0,5% hingga 2% (Korniyenko et al., 2021; Merlo et al., 2021). Dengan demikian, secara teoritis, lokasi Pakirum dapat dipertimbangkan sebagai prospek eksplorasi logam tembaga yang menjanjikan, baik untuk produksi primer maupun sebagai logam ikutan dalam ekstraksi emas.

Sebaliknya, sampel dari Upak dan Labaong masing-masing menunjukkan konsentrasi sebesar 86,5422 ppm (0,0086%) dan 6,7110 ppm (0,00067%). Kedua nilai ini berada jauh di bawah ambang batas kelayakan eksplorasi Cu, menandakan bahwa potensi ekonomis dari dua lokasi ini untuk Cu cenderung rendah. Namun, penting dicatat bahwa kadar Cu seperti ini tetap berimplikasi terhadap aspek lingkungan, terutama jika terjadi akumulasi akibat pengolahan yang tidak terkontrol, seperti yang dilaporkan di wilayah Buru dan Côte d'Ivoire (Almendral & Tayo, 2023; N'cho et al., 2023). Perbedaan kandungan Cu antar lokasi secara visual direpresentasikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Perbedaan Kandungan Tembaga di Tiga Lokasi

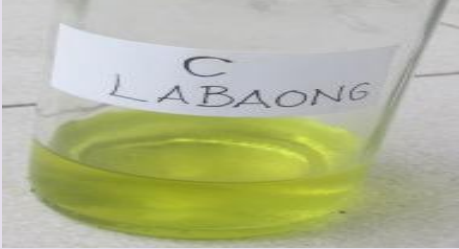
Pada Gambar 1 terlihat jelas bahwa kandungan Cu dari Pakirum secara signifikan lebih tinggi dibanding dua lokasi lainnya, mempertegas indikasi prospek mineralisasi Cu di kawasan tersebut. Hal ini juga mendukung pentingnya karakterisasi geologi lebih lanjut melalui pemetaan alterasi hidrotermal dan urat kuarsa sebagai indikasi keterdapatn sistem porfiri atau epitermal (Aldan et al., 2022; Verdiansyah et al., 2021).

Analisis Warna Filtrat dan Residu dari Proses Kopresipitasi

Proses kopresipitasi pada sampel batuan dari tiga lokasi penambangan menghasilkan filtrat dan residu dengan karakteristik warna yang berbeda, yang dapat dijadikan sebagai indikator visual awal keberadaan ion Cu^{2+} . Hasil observasi visual dari filtrat dan residu masing-masing sampel disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Kopresipitasi

Sampel Batuan	Filtrat	Residu
Pakirum	 Biru muda	 Coklat tua

Sampel Batuan	Filtrat	Residu
Upak	 Tidak berwarna	 Coklat kemerahan
Labaong	 Kuning kehijauan	 Putih kekuningan

Filtrat Pakirum berwarna biru muda yang kuat, menandakan keberadaan kompleks akuo-ion $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, suatu bentuk koordinasi khas dari ion Cu^{2+} dalam larutan air (Hsu & Zimmer, 2023). Warna ini muncul akibat transisi d-d elektron dalam pusat logam transisi yang dipengaruhi oleh medan ligan dari molekul air (Dey, 2021). Visualisasi ini diperkuat oleh hasil AAS yang menunjukkan konsentrasi Cu sebesar 1063,9251 ppm – yang tertinggi di antara semua sampel.

Filtrat Upak tampak tidak berwarna (jernih), mengindikasikan bahwa hampir tidak ada ion Cu^{2+} yang terlarut dalam larutan setelah presipitasi. Hal ini sesuai dengan hasil AAS yang menunjukkan kandungan Cu yang sedang (86,5422 ppm). Meskipun warnanya tidak memperlihatkan spektrum khas Cu, keberadaan residu berwarna coklat kemerahan menunjukkan bahwa sebagian besar tembaga kemungkinan besar telah mengendap sebagai senyawa CuO atau $\text{Cu}(\text{OH})_2$ dalam fase padat.

Filtrat Labaong menunjukkan warna kuning kehijauan, yang tidak umum diasosiasikan dengan ion Cu^{2+} , namun bisa dikaitkan dengan keberadaan ion lain seperti Fe^{3+} atau sisa senyawa anorganik lainnya. Warna ini mengindikasikan rendahnya keterdapatan tembaga, yang dikonfirmasi oleh hasil AAS yang menunjukkan hanya 6,7110 ppm Cu. Warna residu putih kekuningan memperkuat asumsi bahwa kandungan logam berat seperti Cu sangat minim, dan kemungkinan sebagian besar komponen batuan adalah senyawa silikat atau karbonat non-logam.

Visualisasi hasil kopresipitasi ini relevan dalam konteks deteksi kualitatif ion logam melalui perubahan warna. Mekanisme ini serupa dengan metode kolorimetri berbasis sensor, di mana perubahan warna larutan mencerminkan keberadaan dan konsentrasi logam berat tertentu (Budlayan et al., 2021; Kaur et al., 2020). Warna filtrat biru muda dari Pakirum adalah indikator klasik dari larutan tembaga(II), dan kehadirannya mendukung validitas metode kopresipitasi sebagai alat screening awal sebelum analisis kuantitatif dengan AAS.

Penelitian sebelumnya juga menegaskan bahwa variasi pH dan keberadaan ligan tertentu seperti klorida atau organik lain dapat menyebabkan pergeseran warna filtrat karena efek medan ligan terhadap transisi elektron Cu^{2+} (Jenkins et al., 2023; Katkova et al., 2019). Dalam konteks penelitian ini, larutan dasar (NH_4OH) yang digunakan menciptakan kondisi pH tinggi yang ideal untuk presipitasi $\text{Cu}(\text{OH})_2$, sekaligus menstabilkan kompleks Cu^{2+} dalam bentuk larutan yang mudah diamati.

Warna residu, di sisi lain, memberikan informasi tentang jenis presipitat yang terbentuk. Warna coklat tua dari residu Pakirum menunjukkan kemiripan dengan endapan CuO yang biasa dihasilkan dalam sistem presipitasi basa (Quiton et al., 2022).

Sebaliknya, warna putih kekuningan dari Labaong lebih mirip dengan presipitat non-logam seperti silika atau kalsium karbonat, memperkuat argumen bahwa Cu tidak dominan dalam sampel tersebut.

Berdasarkan temuan penelitian, interpretasi visual dari filtrat dan residu secara langsung berkorelasi dengan hasil kuantitatif AAS. Hal ini menunjukkan bahwa observasi warna dalam proses kopresipitasi dapat digunakan sebagai metode indikatif awal dalam survei mineralogi tambang rakyat, yang efisien dan berbiaya rendah.

Implikasi Ekonomi dan Lingkungan

Hasil dari lokasi Pakirum menunjukkan bahwa kandungan Cu berada dalam rentang yang dapat dikategorikan sebagai sumber daya ekonomis. Kandungan sekitar 1% Cu sesuai dengan nilai rata-rata dari tambang-tambang aktif seperti Grasberg di Papua dan Lubin di Polandia, yang rata-rata menunjukkan kandungan antara 0,9%–1,1% (Merlo et al., 2021; Leys et al., 2020). Hal ini memperkuat relevansi Sumbawa sebagai wilayah target eksplorasi baru untuk logam tembaga, baik dalam konteks skala rakyat maupun industrialisasi tambang.

Namun, penting pula untuk mempertimbangkan implikasi ekologis. Beberapa penelitian menyatakan bahwa kontaminasi Cu dalam tailing atau air limbah dari tambang rakyat dapat berdampak pada kualitas air dan kesehatan manusia, terutama jika tidak diolah atau dimonitor (Godirilwe et al., 2021; Escobar-Segovia et al., 2021). Kandungan Cu >600 mg/L telah dilaporkan di daerah pertambangan rakyat lain di Indonesia, dan hal ini menunjukkan bahwa Cu dapat menjadi polutan sekunder yang signifikan (Almendral & Tayo, 2023).

Kajian di Côte d'Ivoire menunjukkan bahwa pencemaran Cu dari tambang rakyat, meskipun tidak sebesar tambang industri, tetap menimbulkan dampak lokal yang relevan terhadap kualitas tanah dan pertanian (N'cho et al., 2023). Oleh karena itu, hasil studi ini penting untuk membuka diskursus tentang integrasi pendekatan pertambangan berkelanjutan, pemantauan geokimia, serta eksplorasi mineral logam ikutan di lokasi tambang emas tradisional di Indonesia.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi kandungan tembaga (Cu) dalam batuan dari tiga lokasi penambangan emas tradisional di Pulau Sumbawa menggunakan metode kopresipitasi dan AAS. Hasil menunjukkan bahwa batuan dari lokasi Pakirum memiliki kandungan Cu yang sangat tinggi, mencapai 1063,9251 ppm atau sekitar 1,06%, yang secara teoritis berada dalam kisaran ekonomis untuk eksplorasi logam tembaga. Sebaliknya, sampel dari lokasi Upak dan Labaong menunjukkan kandungan Cu yang jauh lebih rendah, masing-masing 86,5422 ppm dan 6,7110 ppm. Hasil ini diperkuat oleh indikator visual berupa warna filtrat dan residu, di mana filtrat Pakirum menampilkan warna biru khas ion Cu^{2+} , sedangkan filtrat dari dua lokasi lainnya menunjukkan warna yang tidak mengindikasikan keterdapatan Cu dalam jumlah signifikan. Penelitian ini memperkuat bukti bahwa beberapa lokasi tambang rakyat di Sumbawa, khususnya Pakirum, tidak hanya menyimpan potensi emas, tetapi juga logam tembaga yang layak ditindaklanjuti sebagai potensi eksplorasi logam sekunder.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan ini, disarankan agar dilakukan penelitian lanjutan untuk karakterisasi mineralogi lebih lanjut, seperti melalui analisis X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), dan pemetaan geospasial kandungan Cu guna mengetahui sebaran dan kedalaman keterdapatan logam. Selain itu, perlu dikembangkan pendekatan berbasis lingkungan dan masyarakat yang mempertimbangkan potensi kontaminasi Cu akibat pengolahan tambang tanpa kontrol. Lokasi Pakirum sebaiknya menjadi prioritas dalam eksplorasi lebih lanjut karena kadar Cu-nya yang sudah mendekati atau melebihi batas ekonomis eksploitasi.

Studi lanjutan juga perlu menilai kemungkinan pemanfaatan tailing dari tambang rakyat sebagai sumber logam tambahan serta mengembangkan model pertambangan rakyat yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, terutama untuk mendukung diversifikasi pendapatan masyarakat lokal di wilayah pertambangan.

REFERENSI

- Aboulaich, A., Yaden, A., Elhalya, N., Tayoury, M., Aqil, M., Hdidou, L., ... Alami, J. (2022). Synthesis and recyclability of sheet-like cobalt carbonate recovered from spent li-ion batteries using a simple hydrometallurgy process. *Sustainability*, 14(5), 2552. <https://doi.org/10.3390/su14052552>
- Ahmad, S. (2023). Innovation and drivers of productivity: a global analysis of selected critical minerals. *Commodities*, 2(4), 417–432. <https://doi.org/10.3390/commodities2040024>
- Aldan, F., Idrus, A., Takahashi, R., & Kaneko, G. (2022). High-sulfidation epithermal-porphyry transition in the Kumbokarno prospect, Trenggalek district, East Java, Indonesia: Constraints from mineralogy, fluid inclusion, and sulfur isotope studies. *Resource Geology*, 72(1). <https://doi.org/10.1111/rge.12289>
- Almendral, C., & Tayo, L. (2023). Performance of electrocoagulation process for copper removal in simulated artisanal and small-scale mining wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1146(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1146/1/012002>
- Benavente, O., Hernández, M., Melo, E., Núñez, D., Quezada, V., & Zepeda, Y. (2019). Copper dissolution from black copper ore under oxidizing and reducing conditions. *Metals*, 9(7), 799. <https://doi.org/10.3390/met9070799>
- Blundy, J., Afanasyev, A., Tattitch, B., Sparks, S., Melnik, O., Utkin, I., ... Rust, A. (2021). The economic potential of metalliferous sub-volcanic brines. *Royal Society Open Science*, 8(6), 202192. <https://doi.org/10.1098/rsos.202192>
- Budlayan, M., Patricio, J., Lagare, J., Rosa, L., Arco, S., Alguno, A., ... Capangpangan, R. (2021). Functionalized silver nanoparticle-decorated paper sensor for rapid colorimetric detection of copper ions in water. *Functional Composites and Structures*, 3(3), 035007. <https://doi.org/10.1088/2631-6331/ac25e9>
- Burrows, D., Rennison, M., Burt, D., & Davies, R. (2020). The onto Cu-Au discovery, eastern Sumbawa, Indonesia: A large, Middle Pleistocene lithocap-hosted high-sulfidation covellite-pyrite porphyry deposit. *Economic Geology*, 115(7), 1385–1412. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4766>
- Cruz, C., Herrera-León, S., Calisaya-Azpilcueta, D., Salazar, R., Cisternas, L., & Kraslawski, A. (2022). Using waste brine from desalination plant as a source of industrial water in copper mining industry. *Minerals*, 12(9), 1162. <https://doi.org/10.3390/min12091162>
- Cui, W., Mei, Y., Liu, S., & Zhang, X. (2023). Health risk assessment of heavy metal pollution and its sources in agricultural soils near Hongfeng Lake in the mining area of Guizhou Province, China. *Frontiers in Public Health*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1276925>
- Dey, N. (2021). Metal-ion-responsive chromogenic probe for rapid, on-location detection of foodborne bacterial pathogens in contaminated food items. *ACS Applied Bio Materials*, 4(9), 6893–6902. <https://doi.org/10.1021/acsabm.1c00600>
- Drobe, M., Haubrich, F., Gajardo, M., & Marbler, H. (2021). Processing tests, adjusted cost models and the economies of reprocessing copper mine tailings in Chile. *Metals*, 11(1), 103. <https://doi.org/10.3390/met11010103>
- Escobar-Segovia, K., Jiménez-Oyola, S., Garcés, D., Paz-Barzola, D., Navarrete, E., Romero-Crespo, P., ... Salgado-Almeida, B. (2021). Heavy metals in rivers affected by mining activities in Ecuador: Pollution and human health implications. <https://doi.org/10.2495/wrm210061>

- Esfanjani, L., Farhadyar, N., Shahbazi, H., & Fathi, F. (2023). B-cyclodextrin modified nano γ -alumina synthesized by co-precipitation method for absorption properties improvement of nano alumina. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3447602/v1>
- Faesal, A., Aminuddin, M., & Ubaidillah, A. (2022). Host rock petrology, hydrothermal alteration characteristics & ore mineralogy of porphyry copper-gold deposit, Brambang, Lombok, West Nusa Tenggara Indonesia. *Materials Today: Proceedings*, 66, 3071–3076. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.373>
- Flores, V., Norambuena, B., & Leiva, C. (2020). Using artificial intelligence techniques to improve the prediction of copper recovery by leaching. *Journal of Sensors*, 2020, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2020/2454875>
- Fodoué, Y., Ismaila, A., Yannah, M., Wirmvem, M., & Mana, C. (2022). Heavy metal contamination and ecological risk assessment in soils of the Pawara gold mining area, eastern Cameroon. *Earth*, 3(3), 907–924. <https://doi.org/10.3390/earth3030053>
- Godirilwe, L., Haga, K., Batnasan, A., Takasaki, Y., Ishiyama, D., Trifunović, V., ... Shibayama, A. (2021). Copper recovery and reduction of environmental loading from mine tailings by high-pressure leaching and SX-EW process. *Metals*, 11(9), 1335. <https://doi.org/10.3390/met11091335>
- Hammarstrom, J. (2022). Porphyry copper: Revisiting mineral resource assessment predictions for the Andes. *Minerals*, 12(7), 856. <https://doi.org/10.3390/min12070856>
- Hsu, I., & Zimmer, H. (2023). A colorimetric investigation of copper(II) solutions. *Journal of Emerging Investigators*. <https://doi.org/10.59720/22-284>
- Irengé, C., Bushenyula, P., Irengé, E., & Coppieters, Y. (2023). Participative epidemiology and prevention pathway of health risks associated with artisanal mines in Lulihi area, DR Congo. *BMC Public Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15020-3>
- Jenkins, M., Phillips, M., & Xue, Z. (2023). Solvatochromism of cupric chloride and its conversion to copper oxide. *Journal of Chemical Education*, 100(12), 4772–4779. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00493>
- Justel, F., Taboada, M., Flores, E., Galleguillos, H., & Graber, T. (2020). Thermodynamic model for the design of a process of production of copper sulfate pentahydrate from copper ores. *ACS Omega*, 5(45), 29073–29080. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03615>
- Kagambèga, N., Ouedraogo, M., & Sam, U. (2023). Assessment of water and stream sediment pollution related to artisanal mining in Alga, Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 461–473. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i113189>
- Kamariah, N., Xanthopoulos, P., Binnemans, K., & Spooen, J. (2023). Solvometallurgical process for the recovery of copper from chrysocolla in monoethanolamine. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 62(33), 12880–12890. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c01834>
- Karaboduk, K. (2019). Electrochemical determination of ascorbic acid based on AgNPs/PVP-modified glassy carbon electrode. *ChemistrySelect*, 4(20), 6361–6369. <https://doi.org/10.1002/slct.201901102>
- Katkova, M., Zabrodina, G., Rumyantsev, R., Zhigulin, G., Ketkov, S., Lyssenko, K., ... Еременко, И. (2019). pH-responsive switching properties of a water-soluble metallamacrocyclic phenylalanine-hydroximate La(III)–Cu(II) complex: Insight into tuning protonation ligand states. *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2019(39–40), 4328–4335. <https://doi.org/10.1002/ejic.201900536>
- Kaur, M., Sahoo, S., & Kaur, H. (2020). New Schiff base as selective and sensitive detection of copper ions in aqueous solvent. *ChemistrySelect*, 5(47), 14857–14868. <https://doi.org/10.1002/slct.202003880>

- Korniienko, V., Malanchuk, Y., Khrystyuk, A., Kostrychenko, V., Shampikova, A., Nogaeva, K., ... Kozhonov, A. (2021). Modeling the distribution of rock mass and native copper output by size classes during crushing. *E3S Web of Conferences*, 280, 01004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128001004>
- Leys, C., Schwarz, A., Cloos, M., Widodo, S., Kyle, J., & Sirait, J. (2020). Chapter 29: Grasberg copper-gold-(molybdenum) deposit: Product of two overlapping porphyry systems (pp. 599–620). <https://doi.org/10.5382/sp.23.29>
- Merlo, A., Kaczan, W., Léonard, G., & Wirth, H. (2021). Assessing the environmental pertinence of cobalt exploitation from slag in KGHM mines. *Environ Sci Proc*, 33. <https://doi.org/10.3390/envirosci2021009033>
- N'cho, O., Ouattara, I., Ouattara, Z., Yeo, S., & Kamagaté, B. (2023). Soil and environment quality in artisanal small-scale mining areas in western Côte d'Ivoire. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20(3), 774–779. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.3.2420>
- Oliveira, J., Suarez, W., Santos, V., Silva, L., & Capitán-Vallvey, L. (2023). Using a cotton thread-based colorimetric sensor modified by carboxymethylcellulose and cuprizone with smartphone detection for quantification of copper. *Analytical Methods*, 15(42), 5683–5691. <https://doi.org/10.1039/d3ay01541f>
- Oliveira, P., Colombo, M., Porto, L., Carvalho, G., & Petri, D. (2019). Evaluation of calcium alginate microparticles for copper preconcentration prior to FAAS measurements in fresh water. *Brazilian Journal of Analytical Chemistry*, 6(23). <https://doi.org/10.30744/brjac.2179-3425.ar.139-2018>
- Oo, T. (2019). Approach to assessment of soil and water contamination by mining activities in Mandalay Region, Myanmar. *International Journal of Geomate*, 16(57). <https://doi.org/10.21660/2019.57.8137>
- Park, S., & Choi, Y. (2020). Applications of unmanned aerial vehicles in mining from exploration to reclamation: A review. *Minerals*, 10(8), 663. <https://doi.org/10.3390/min10080663>
- Popkov, V., & Albadi, Y. (2021). The effect of co-precipitation temperature on the crystallite size and aggregation/agglomeration of GdFeO₃ nanoparticles. *Nanosystems Physics Chemistry Mathematics*, 12(2), 224–231. <https://doi.org/10.17586/2220-8054-2021-12-2-224-231>
- Quiton, K., Huang, Y., & Lu, M. (2022). Recovery of cobalt and copper from single- and co-contaminated simulated electroplating wastewater via carbonate and hydroxide precipitation. *Sustainable Environment Research*, 32(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-022-00140-z>
- Raza'i, T., Nofrizal, N., Amrifo, V., Pardi, H., Putra, I., Febrianto, T., ... Ilhamdy, A. (2022). Accumulation of essential (copper, iron, zinc) and non-essential (lead, cadmium) heavy metals in *Caulerpa racemosa*, sea water, and marine sediments of Bintan Island, Indonesia. *F1000Research*, 10, 699. <https://doi.org/10.12688/f1000research.54445.2>
- Redwan, M., & Elhaddad, E. (2020). Assessment of seasonal variability and enrichment of toxic trace metals pollution in sediments of Damietta Branch, Nile River, Egypt. *Water*, 12(12), 3359. <https://doi.org/10.3390/w12123359>
- Sirait, M., Saragih, K., & Gea, S. (2020). The fabrication of natural zeolite via co-precipitation method as Cu, Pb and Zn metal absorbent. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 57(3), 40–47. <https://doi.org/10.2478/lpts-2020-0014>
- Sidoruk, M. (2023). Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the bottom sediments: A case study of eutrophic Bukwald Lake located in an agricultural catchment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2387. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032387>
- Slassi, S., Aarjane, M., & Amine, A. (2021). A novel imidazole-derived Schiff base as selective and sensitive colorimetric chemosensor for fluorescent detection of Cu²⁺

- in methanol with mixed aqueous medium. *Applied Organometallic Chemistry*, 35(11). <https://doi.org/10.1002/aoc.6408>
- Sulaksono, A., Watanabe, Y., Arribas, A., Echigo, T., Furqan, R., & Leys, C. (2021). Reduction of oxidized sulfur in the formation of the Grasberg porphyry copper-gold deposit, Papua, Indonesia. *Mineralium Deposita*, 56(6), 1027–1042. <https://doi.org/10.1007/s00126-021-01040-9>
- Sylvain, A., Koné, T., Lassina, C., Kamagaté, M., & Lacina, C. (2020). Diagnostics of environmental risks and mapping of surface water sensitivity due to metal contamination from artisanal gold mining in Côte d'Ivoire: Case of Angovia, Kokumbo, Hiré and Agbaou. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8(2), 47–64. <https://doi.org/10.4236/gep.2020.82004>
- Tampushi, L., Onyari, J., & Muthama, N. (2021). A review of mining regulations and environmental sustainability of artisanal gold mining sector. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 1–16. <https://doi.org/10.9734/ajee/2021/v16i430253>
- Terrones-Saeta, J., Suárez-Macías, J., Castañón, A., & Corpas-Iglesias, F. (2021). Evaluation of copper leaching for subsequent recovery from the waste dumps of the Linares mining district and their use for construction materials. *Metals*, 11(8), 1328. <https://doi.org/10.3390/met11081328>
- Tran, T., Moon, H., & Lee, M. (2022). Recovery of valuable metals from the hydrochloric leaching solution of reduction smelted metallic alloys from spent lithium-ion batteries. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(5), 1247–1258. <https://doi.org/10.1002/jctb.7019>
- Tudosie, M., Caragea, G., Popescu, D., Avram, O., Șerban, D., Smarandache, C., ... Dascălu, A. (2021). Optimization of a GF AAS method for lead testing in blood and urine: A useful tool in acute abdominal pain management in emergency. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 22(3). <https://doi.org/10.3892/etm.2021.10417>
- Turabdzhanov, S., Nazirov, Z., Turaeva, D., & Rakhimova, L. (2019). Perspective wastewater treatment from Cu²⁺ ions in the mining industry. *E3S Web of Conferences*, 105, 02025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910502025>
- Uwizeyimana, J., Rwatangabo, D., Imanirafasha, E., Barayagwiza, V., & Hategekimana, F. (2022). The efficiency of mechanized mineral processing techniques to recover tin and tantalum ores: Case study: Nyamatete concession, Rwanda. *Geoscience Engineering*, 68(2), 195–207. <https://doi.org/10.35180/gse-2022-0081>
- Verdiansyah, O., Idrus, A., Setijadji, L., Sutopo, B., & Sukadana, I. (2021). Mineralogy of hydrothermal breccia cement of Humpa Leu East porphyry copper-gold prospect, Sumbawa Island, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 325, 04008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132504008>
- Wang, Z., Liu, Y., Wei, C., Liu, X., Yang, Z., Yang, L., ... Li, Z. (2022). Spatial distribution, sources, and risk assessment of metal ions in sediments from industrial areas in the Kuye River Basin in Shenmu, China. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2102984/v1>
- Xu, X., Zhang, X., Cao, C., Zheng, B., Deng, H., & Shuai, Q. (2020). Cu²⁺-selective naked-eye 'off-on' fluorescent probe with multisignals: Chromaticity, fluorescence, electrochemistry. *Luminescence*, 35(7), 1142–1150. <https://doi.org/10.1002/bio.3827>
- Tpyc, I., Halysh, V., Gomelya, M., Ivanchenko, A., & Benatov, D. (2021). Techno-economic feasibility for water purification from copper ions. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22(3), 27–34. <https://doi.org/10.12912/27197050/134869>