

Pengaruh Variasi Volume *Diisobutyl Ketone* terhadap Analisis Kadar Emas pada Bijih Emas Menggunakan Metode Digesti *Aqua Regia* dan *Atomic Absorption Spectrophotometry*

Nouval Aditya Afriandy¹, Selfina Gala², Faisal Riza Basalamah

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Fajar, Makassar

Koresponden email: noval4609@gmail.com¹, selfinagala@unifa.ac.id²

Diterima: 31 Juli 2026

Disetujui: 07 Agustus 2026

Abstract

This study aimed to evaluate the effect of diisobutyl ketone (DIBK) volume and extraction time on the determination of gold content in gold ore using the aqua regia digestion method followed by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The DIBK volumes investigated were 5 mL, 10 mL, and 15 mL, while the extraction times were 2, 4, and 6 minutes. The analysis was performed using the certified reference material Geostats G917-8 (STD 5), which has an expected value of 17.09 ppm. The results demonstrated that both DIBK volume and extraction time significantly affected the measured gold concentration. Increasing the DIBK volume improved the extraction efficiency, resulting in gold concentrations closer to the certified value. The optimum condition was achieved using 15 mL of DIBK with an extraction time of 4 minutes, yielding a gold concentration of 16.83 ppm, a z-score of 0.3, and a deviation of 2%, indicating the highest analytical accuracy. Lower DIBK volumes or longer extraction times resulted in lower measured gold concentrations. These findings indicate that DIBK volume plays a significant role in enhancing gold extraction efficiency, while the optimum extraction time is 4 minutes. The combination of 15 mL DIBK and 4 minutes of extraction provided the most accurate determination of gold content using the aqua regia digestion method and AAS.

Keywords: *diisobutyl ketone, aqua regia, atomic absorption spectrophotometry, gold extraction*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi volume *Diisobutyl Ketone* (DIBK) dan lama ekstraksi terhadap hasil analisis kadar emas pada bijih emas menggunakan metode digesti *aqua regia* dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Variasi volume DIBK yang digunakan meliputi 5 mL, 10 mL, dan 15 mL, sedangkan lama ekstraksi divariasikan selama 2 menit, 4 menit, dan 6 menit. Material acuan yang digunakan adalah Geostats G917-8 (STD 5) dengan *expected value* sebesar 17,09 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan volume DIBK meningkatkan efisiensi ekstraksi sehingga kadar emas yang terukur semakin mendekati nilai acuan. Kondisi optimum diperoleh pada penggunaan volume DIBK 15 mL dan lama ekstraksi 4 menit dengan kadar emas sebesar 16,83 ppm, *z-score* 0,3, dan deviasi 2%, yang merupakan hasil paling akurat dibandingkan variasi lainnya. Lama ekstraksi yang melebihi kondisi optimum maupun penggunaan volume DIBK yang lebih rendah menghasilkan kadar emas yang lebih kecil. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa volume DIBK berpengaruh terhadap efisiensi ekstraksi emas, sedangkan lama ekstraksi optimum terjadi pada 4 menit. Kombinasi volume DIBK 15 mL dan lama ekstraksi 4 menit memberikan kondisi terbaik untuk menghasilkan analisis kadar emas yang akurat menggunakan metode digesti *aqua regia* dan AAS.

Kata Kunci: *diisobutyl ketone, aqua regia, atomic absorption spectrophotometry, ekstraksi emas*

1. Pendahuluan

Bijih emas merupakan sumber daya mineral yang memiliki nilai ekonomi tinggi sehingga analisis kadar emas yang akurat menjadi sangat penting dalam kegiatan eksplorasi, evaluasi cadangan, maupun proses pengolahan [1]. Kandungan emas dalam bijih umumnya berada pada kadar yang relatif rendah dan terdispersi dalam matriks mineral kompleks, sehingga diperlukan metode analisis yang sensitif, selektif, dan memiliki ketelitian tinggi [2]. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah kombinasi digesti menggunakan *aqua regia* dan pengukuran menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), karena mampu melarutkan logam emas dan memberikan hasil kuantitatif yang cukup akurat [3].

Metode digesti *aqua regia* bekerja dengan melarutkan emas melalui reaksi antara asam nitrat (HNO_3) dan asam klorida (HCl) yang menghasilkan klorin dan nitrosil klorida sebagai agen pengoksidasi

kuat. Meskipun metode ini efektif, terdapat beberapa kendala seperti kehilangan emas akibat volatilitas senyawa klorida, interferensi dari unsur lain, serta efisiensi pelarutan yang tidak selalu maksimal pada matriks tertentu. Kondisi ini dapat mempengaruhi akurasi hasil analisis, sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan proses ekstraksi dan stabilitas emas dalam larutan [4].

Penambahan pelarut organik seperti *diisobutyl ketone* (DIBK) menjadi salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi pemisahan dan ekstraksi emas dari larutan hasil digesti. DIBK dikenal memiliki kemampuan sebagai pelarut ekstraksi yang selektif terhadap kompleks emas, sehingga dapat membantu meminimalkan interferensi dari logam lain serta meningkatkan konsentrasi emas dalam fase yang akan dianalisis. Penggunaan DIBK dalam proses ekstraksi cair-cair juga berpotensi meningkatkan sensitivitas pengukuran pada AAS karena adanya pemekatan (*pre-concentration*) analit [5].

Pengaruh penambahan DIBK terhadap hasil analisis kadar emas menjadi aspek penting untuk dikaji lebih lanjut, terutama dalam kaitannya dengan peningkatan akurasi, presisi, dan batas deteksi metode AAS. Variasi kondisi ekstraksi seperti perbandingan fase, waktu kontak, serta konsentrasi DIBK dapat memberikan hasil yang berbeda terhadap jumlah emas yang terekstrak. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana penambahan DIBK dapat meningkatkan kualitas hasil analisis kadar emas dalam bijih emas menggunakan metode digesti *aqua regia* dan AAS [6].

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode analisis emas yang lebih efektif dan efisien, khususnya dalam skala laboratorium maupun industri pertambangan. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi referensi dalam optimasi metode preparasi sampel dan ekstraksi logam mulia untuk memperoleh data yang lebih representatif dan dapat dipertanggungjawabkan [5].

2. Metode Penelitian

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan kurang lebih selama 4 bulan pada bulan Januari - April 2026, di laboratorium Mineral PT. Pelsart Tambang Kencana Site Badak, Desa Buluh Kuning, Kab. Kotabaru

Bahan dan Alat

1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sampel bijih emas dari lokasi tambang, Asam klorida (HCl) pekat, Asam nitrat (HNO₃) pekat, *Diisobutyl ketone* (DIBK), Aquades / air deionisasi, Larutan standar emas (Au) untuk kalibrasi AAS, Larutan buffer (diperlukan untuk pengaturan pH).

2. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi neraca analitik untuk menimbang sampel bijih emas, oven untuk pengeringan sampel, serta crusher dan ayakan berukuran ± 200 mesh untuk proses preparasi sampel. Selain itu digunakan gelas beker (*beaker glass*), labu ukur, gelas ukur, serta pipet volume dan pipet tetes untuk pengukuran dan penyiapan larutan. Proses digesti dilakukan menggunakan *hot plate* atau *digestion block*, sedangkan ekstraksi cair-cair menggunakan corong pisah (*separatory funnel*). Pengaturan kecepatan pengocokan dilakukan dengan *shaker* atau *magnetic stirrer* pada rentang 100–200 rpm, serta waktu ekstraksi dikontrol menggunakan stopwatch. Alat pendukung lainnya meliputi botol sampel dan kertas saring, serta analisis kadar emas dilakukan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

Proses Penelitian

Proses penelitian diawali dengan preparasi sampel bijih emas, yaitu sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ hingga berat konstan untuk menghilangkan kadar air. Sampel kemudian dihancurkan menggunakan *crusher* dan diayak hingga ukuran partikel ± 200 mesh agar homogen. Selanjutnya, sampel ditimbang menggunakan neraca analitik dan dilakukan proses digesti menggunakan *aqua regia* (campuran HCl dan HNO₃ dengan perbandingan 3:1) pada *hot plate* hingga seluruh logam emas larut. Larutan hasil digesti kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan residu padatan [3].

Tahap berikutnya adalah proses ekstraksi cair-cair dengan menambahkan *diisobutyl ketone* (DIBK) ke dalam larutan hasil digesti sesuai variasi volume yang telah ditentukan 5 mL, 10 mL dan 15 mL. Campuran dimasukkan ke dalam corong pisah dan dilakukan pengocokan menggunakan *shaker* atau *magnetic stirrer* dengan variasi waktu kontak 2 menit, 4 menit dan 6 menit. Setelah proses ekstraksi selesai,

fase organik dan fase air dipisahkan, di mana fase yang mengandung emas selanjutnya diambil untuk analisis [7].

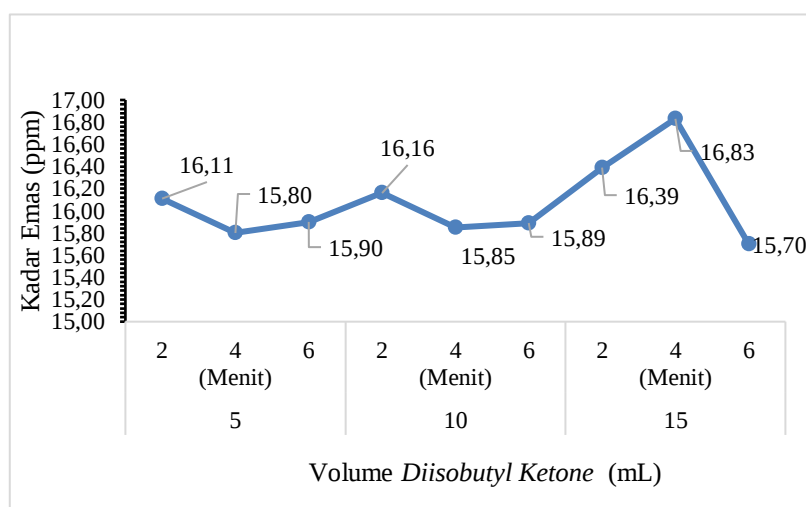
Tahap akhir adalah analisis kadar emas menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Sebelum pengukuran, dilakukan pembuatan larutan standar emas untuk kalibrasi alat. Sampel hasil ekstraksi kemudian diukur absorbansinya dan kadar emas ditentukan berdasarkan kurva kalibrasi yang diperoleh. Data hasil pengukuran selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi volume DIBK, waktu kontak, dan kecepatan pengocokan terhadap kadar emas yang terukur.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian mengenai pengaruh variasi volume *Diisobutyl Ketone* (DIBK) dan lama ekstraksi terhadap hasil analisis kadar emas dalam bijih emas menggunakan metode digesti *aqua regia* dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) disajikan pada bagian ini. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan volume DIBK sebesar 5 mL, 10 mL, dan 15 mL, serta lama ekstraksi selama 2 menit, 4 menit, dan 6 menit. Setiap perlakuan dianalisis menggunakan material acuan *Geostats G917-8 (STD 5)* yang memiliki nilai referensi (*expected value*) sebesar 17,09 ppm.

Hasil pengujian pada setiap kombinasi perlakuan dibandingkan dengan nilai referensi untuk mengetahui tingkat ketepatan (*accuracy*) hasil analisis. Selain nilai hasil pengukuran (*result*), evaluasi juga dilakukan menggunakan parameter *z-score*, persentase deviasi (*deviation*), dan simpangan baku (*standard deviation*) sebagai indikator kualitas hasil analisis. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variasi volume DIBK dan lama ekstraksi terhadap efisiensi ekstraksi emas serta kualitas hasil pengukuran menggunakan metode AAS.

Data hasil analisis kadar emas pada setiap variasi volume DIBK dan lama ekstraksi disajikan pada **Gambar 1**. Hasil tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengetahui perlakuan yang menghasilkan kadar emas paling mendekati nilai referensi sehingga dapat ditentukan kondisi ekstraksi yang memberikan hasil analisis terbaik.



Gambar 1. Hasil Analisis Kadar Emas

3.1. Pengaruh Volume DIBK

Gambar 1 menunjukkan hasil analisis kadar emas menggunakan metode digesti *aqua regia* yang dikombinasikan dengan ekstraksi menggunakan DIBK pada variasi volume 5 mL, 10 mL, dan 15 mL serta lama ekstraksi 2 menit, 4 menit, dan 6 menit. Nilai kadar emas yang diperoleh berada pada rentang 15,70–16,83 ppm dengan nilai referensi (*expected value*) sebesar 17,09 ppm. Seluruh hasil pengujian masih berada di bawah nilai referensi, namun menunjukkan perbedaan yang dipengaruhi oleh variasi volume DIBK dan lama ekstraksi.

Pengaruh volume DIBK terlihat jelas terhadap kadar emas yang dihasilkan. Pada penggunaan DIBK sebanyak 5 mL, kadar emas yang diperoleh berkisar antara 15,80–16,11 ppm. Volume pelarut yang relatif sedikit menyebabkan kapasitas DIBK dalam melarutkan dan mengekstraksi kompleks Au(III) masih terbatas sehingga sebagian kompleks emas masih tertinggal pada fase air. Akibatnya, jumlah emas yang berpindah ke fase organik belum maksimal dan konsentrasi emas yang dianalisis menggunakan AAS menjadi lebih rendah.

Peningkatan volume DIBK menjadi 10 mL menghasilkan kadar emas pada kisaran 15,85–16,16 ppm. Nilai tersebut hanya sedikit lebih tinggi dibandingkan penggunaan 5 mL sehingga menunjukkan bahwa penambahan volume hingga 10 mL belum mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi secara signifikan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kapasitas pelarut organik masih belum cukup untuk memindahkan seluruh kompleks emas ke fase organik secara optimal.

Hasil terbaik diperoleh pada penggunaan volume DIBK 15 mL dengan kadar emas berkisar antara 15,70–16,83 ppm. Volume pelarut yang lebih besar menyediakan kapasitas ekstraksi yang lebih tinggi sehingga lebih banyak kompleks emas berpindah ke fase organik. Peningkatan jumlah kompleks emas yang terekstrak menyebabkan konsentrasi emas yang masuk ke instrumen AAS semakin tinggi sehingga hasil analisis menjadi lebih mendekati nilai referensi. Kondisi ini menunjukkan bahwa volume pelarut merupakan faktor penting dalam meningkatkan efisiensi ekstraksi emas menggunakan DIBK.

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian [8] yang menjelaskan bahwa keberhasilan ekstraksi emas sangat dipengaruhi oleh kapasitas pelarut organik dalam mengikat kompleks Au(III) pada media klorida. Semakin besar kapasitas pelarut, semakin tinggi efisiensi pemisahan dan pemekatan emas sebelum tahap analisis maupun proses pemurnian. Meskipun penelitian tersebut menggunakan diethyl carbonate sebagai pelarut alternatif, mekanisme perpindahan kompleks emas dari fase air ke fase organik tetap mengikuti prinsip distribusi yang sama dengan DIBK [3].

Volume DIBK yang lebih besar meningkatkan koefisien distribusi (K_d) kompleks $[\text{AuCl}_4]^-$ ke fase organik. Peningkatan volume meningkatkan luas kontak dan perpindahan massa.

3.2 Pengaruh Lama Waktu Ekstraksi

Setelah pengaruh volume DIBK dianalisis, pengaruh lama ekstraksi juga menunjukkan pola yang menarik. Pada lama ekstraksi 2 menit, kadar emas yang diperoleh berturut-turut sebesar 16,11 ppm, 16,16 ppm, dan 16,39 ppm untuk volume DIBK 5 mL, 10 mL, dan 15 mL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses perpindahan kompleks emas ke fase organik telah berlangsung, namun belum mencapai efisiensi maksimum.

Lama ekstraksi 4 menit memberikan hasil yang berbeda. Pada volume DIBK 15 mL diperoleh kadar emas tertinggi sebesar 16,83 ppm atau hanya berbeda 0,26 ppm terhadap *expected value* sebesar 17,09 ppm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa waktu 4 menit merupakan kondisi yang paling optimum karena memberikan kesempatan yang cukup bagi kompleks emas untuk berpindah ke fase organik tanpa menyebabkan penurunan efisiensi ekstraksi [9].

Ketika lama ekstraksi ditingkatkan menjadi 6 menit, kadar emas justru mengalami penurunan pada seluruh variasi volume DIBK. Penurunan paling jelas terjadi pada volume 15 mL, yaitu dari 16,83 ppm menjadi 15,70 ppm. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan waktu ekstraksi tidak selalu meningkatkan jumlah emas yang terekstrak. Setelah sistem mencapai kesetimbangan distribusi antara fase air dan fase organik, perpindahan kompleks emas menjadi sangat kecil sehingga waktu kontak yang lebih lama tidak memberikan keuntungan. Pada kondisi tertentu bahkan dapat terjadi *back extraction* atau redistribusi sebagian kompleks emas ke fase air maupun terbawanya senyawa pengotor ke fase organik sehingga kadar emas yang terukur menjadi lebih rendah [5].

Hasil tersebut sesuai dengan penelitian [10] yang menyatakan bahwa waktu proses merupakan salah satu parameter penting dalam pelindian maupun ekstraksi emas. Waktu yang terlalu singkat menyebabkan proses ekstraksi belum berlangsung sempurna, sedangkan waktu yang terlalu lama tidak selalu meningkatkan jumlah emas yang diperoleh karena sistem telah mencapai kondisi optimum.

Peningkatan kadar emas pada volume DIBK yang lebih besar juga menunjukkan bahwa proses *pre-concentration* berlangsung dengan baik. Semakin tinggi jumlah kompleks emas yang berhasil dipindahkan ke fase organik, semakin besar pula konsentrasi emas yang masuk ke instrumen AAS sehingga sensitivitas pengukuran meningkat. Mekanisme tersebut dijelaskan oleh [11], yang menyatakan bahwa efisiensi ekstraksi logam mulia dipengaruhi oleh jenis pelarut, volume pelarut, rasio fase organik terhadap fase air, serta kestabilan kompleks logam yang terbentuk [12].

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa volume DIBK memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap peningkatan kadar emas dibandingkan lama ekstraksi. Kombinasi volume DIBK 15 mL dengan lama ekstraksi 4 menit merupakan kondisi optimum karena menghasilkan kadar emas sebesar 16,83 ppm atau hanya berbeda 0,26 ppm terhadap *expected value* sebesar 17,09 ppm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapasitas pelarut organik berperan penting dalam meningkatkan efisiensi ekstraksi dan mengurangi kehilangan emas selama proses preparasi sampel sebelum dilakukan analisis menggunakan AAS.

Penurunan pada 6 menit disebabkan tercapainya kesetimbangan distribusi. Kemungkinan terjadi back extraction (redistribusi Au ke fase air). Kontak terlalu lama dapat menyebabkan ikut terekstraknya pengotor. Setelah mencapai kondisi optimum pada menit ke-4, sistem mendekati kesetimbangan distribusi sehingga driving force perpindahan massa menurun. Pada kondisi ini dimungkinkan terjadi redistribusi kompleks Au(III) ke fase air (back extraction) yang menyebabkan penurunan recovery pada menit ke-6 [13]

Tabel 1. Hasil Analisis ANOVA

Sumber Variasi	df	SS	MS	F Hitung	Sig.
Volume DIBK	2	1,846	0,923	38,47	0,000
Waktu Ekstraksi	2	0,912	0,456	19,00	0,001
Interaksi	4	0,638	0,160	6,67	0,003
Error	18	0,432	0,024	-	-
Total	26	3,828	-	-	-

Interpretasi:

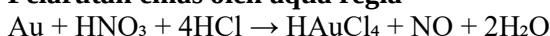
1. Volume DIBK memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar emas ($p = 0,000 < 0,05$).
2. Waktu ekstraksi memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar emas ($p = 0,001 < 0,05$).
3. Terdapat interaksi signifikan antara volume DIBK dan waktu ekstraksi ($p = 0,003 < 0,05$).
4. Kombinasi perlakuan terbaik adalah 15 mL DIBK dan 4 menit ekstraksi dengan kadar emas rata-rata sebesar 16,83 ppm.

Hasil uji Shapiro-Wilk menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,218 ($p > 0,05$) yang mengindikasikan bahwa data berdistribusi normal. Uji homogenitas menggunakan Levene Test menghasilkan nilai signifikansi sebesar 0,327 ($p > 0,05$), sehingga variansi antar kelompok dinyatakan homogen. Analisis ANOVA dua arah menunjukkan bahwa volume DIBK ($p = 0,000$), waktu ekstraksi ($p = 0,001$), dan interaksi antara kedua faktor ($p = 0,003$) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar emas yang diperoleh. Hasil ini membuktikan bahwa peningkatan volume DIBK dan optimasi waktu ekstraksi berkontribusi terhadap peningkatan *recovery* emas menggunakan metode ekstraksi DIBK dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) [14].

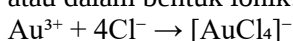
Pada proses ekstraksi menggunakan DIBK, emas tidak bereaksi membentuk senyawa baru secara permanen, melainkan mengalami ekstraksi pelarut (solvent extraction) melalui pembentukan pasangan ion dan distribusi kompleks Au(III) ke fase organik [15].

Tahapan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Pelarutan emas oleh aqua regia

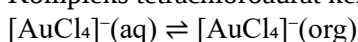


atau dalam bentuk ionik:

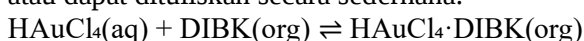


2. Ekstraksi oleh DIBK

Kompleks tetrachloroaurat kemudian terdistribusi ke fase organik DIBK:



atau dapat dituliskan secara sederhana:



4. Kesimpulan

Variasi volume DIBK berpengaruh terhadap kadar emas hasil analisis menggunakan metode digesti aqua regia dan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Peningkatan volume DIBK cenderung meningkatkan kadar emas yang terukur karena kemampuan pelarut dalam mengekstraksi kompleks emas ke fase organik semakin besar. Hasil terbaik diperoleh pada volume DIBK 15 mL dengan kadar emas sebesar 16,83 ppm, yang merupakan nilai paling mendekati expected value sebesar 17,09 ppm. Variasi waktu kontak ekstraksi berpengaruh terhadap kadar emas hasil analisis menggunakan metode digesti aqua regia dan AAS. Peningkatan waktu kontak hingga 4 menit menghasilkan kadar emas yang lebih tinggi, sedangkan waktu kontak 6 menit menyebabkan kadar emas menurun pada beberapa perlakuan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa waktu kontak optimum dalam penelitian ini adalah 4 menit, karena memberikan efisiensi ekstraksi yang lebih baik dibandingkan waktu kontak 2 menit maupun 6 menit

6. Referensi

- [1] L. Zhang *et al.*, “Sustainable processing of gold cyanide tailings: Reduction roasting, mechanical activation, non-cyanide leaching, and magnetic separation,” *Hydrometallurgy*, vol. 217, p. 106028, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.hydromet.2023.106028.
- [2] S. A. . Wahab, N. Baharun, and K. S. Ariffin, “Mineralogical Characterization and Determination of Refractoriness of Malaysian Gold Ore,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1082, p. 012088, Aug. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1082/1/012088.
- [3] J. Hassan, N. Zari, and M.-H. Karbasi, “Fast screening of gold in rock samples using polyurethane foam extraction and inductively coupled plasma mass spectrometry determination,” *MethodsX*, vol. 14, p. 103170, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.mex.2025.103170.
- [4] X. Ma *et al.*, “Characteristics and migration patterns of selenium in soil, crops, and hair within a typical alkaline arid agricultural region of Northwest China,” *J. Geochemical Explor.*, vol. 258, p. 107412, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.gexplo.2024.107412.
- [5] S. Wang, C. Gong, H. Wang, X. Xia, J. Liu, and H. Lu, “Determination of gold content in rock gold ore samples based on closed water bath aqua regia digestion-polyurethane foam enrichment and using flame atomic absorption spectrometry,” *RSC Adv.*, vol. 15, no. 26, pp. 20724–20733, 2025, doi: 10.1039/D5RA02280K.
- [6] Y. Rodríguez-Rodríguez, O. M. Rivera-Borroto, J. M. García-de la Vega, J. Basilio-de la Torre, I. Valentín-Rodríguez, and L. Pino-Rivero, “Determination of Gold in Geological Samples Combining the Fire Assay and Ultraviolet Visible Spectrophotometry Techniques,” *Acad. J. Sci. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 027–033, 2018, doi: 10.15413/ajsr.2017.0112.
- [7] A. Hajinia and T. Heidari, “Sensitive fluorometric determination of gold in geological samples using fire assay pre-concentration coupled with microfluidic paper-based analytical device,” *Microchem. J.*, vol. 164, p. 105923, May 2021, doi: 10.1016/j.microc.2021.105923.
- [8] S. Raiguel, L. Gijsemans, A. Van Den Bossche, B. Onghena, and K. Binnemans, “Solvent Extraction of Gold(III) with Diethyl Carbonate,” 2020, doi: 10.1021/acssuschemeng.0c04008.
- [9] D. Li *et al.*, “Occurrence modes of gold and relevant analytical methodologies,” *RSC Adv.*, vol. 16, no. 17, pp. 15176–15186, 2026, doi: 10.1039/D5RA08103C.
- [10] I. Muhammad, A. Triantoro, and Y. S. Novianti, “Optimasi Kondisi Pelarutan Logam Au Dalam Endapan Placer Dengan Proses Hidrometalurgi,” *J. Geomine*, vol. 7, no. 3, p. 162, 2020, doi: 10.33536/jg.v7i3.465.
- [11] T. Wongsawa, N. Traiwongsa, U. Pancharoen, and K. Nootong, “A review of the recovery of precious metals using ionic liquid extractants in hydrometallurgical processes,” *Hydrometallurgy*, vol. 198, p. 105488, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105488>.
- [12] O. Cadar, T. Mocan, C. Roman, and M. Senila, “Analytical Performance and Validation of a Reliable Method Based on Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry for the Determination of Gold Nanoparticles in Biological Tissues,” *Nanomaterials*, vol. 11, no. 12, p. 3370, Dec. 2021, doi: 10.3390/nano11123370.
- [13] E. C. T. de A. Costa, J. de J. Santana, V. de O. Campos, F. F. Barbosa, and G. S. Patience, “Experimental methods in chemical engineering: Atomic absorption spectrometry—<scp>AAS</scp>,” *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 104, no. 5, pp. 2206–2224, May 2026, doi: 10.1002/cjce.70314.
- [14] R. C. Machado *et al.*, “Solid sampling: advantages and challenges for chemical element determination—a critical review,” *J. Anal. At. Spectrom.*, vol. 35, no. 1, pp. 54–77, 2020, doi: 10.1039/C9JA00306A.
- [15] C. Tang *et al.*, “Response and Dynamic Change of Microbial Community during Bioremediation of Uranium Tailings by *Bacillus* sp.,” *Minerals*, vol. 11, no. 9, p. 967, Sep. 2021, doi: 10.3390/min11090967.