

STUDI ANALISIS KARAKTERISASI BIJIH EMAS MENGGUNAKAN METODE GOLD DEPARTMENT

Aditya Meilany Histy¹, Imelda Eva Roturena Hutabarat¹, Wahid Sugiman¹, Indriani²

¹Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung

²PT Sucofindo

Email Penulis: imelda.hutabarat@esdm.go.id

Naskah Diterima: September 2024/Revisi: September 2024 /Disetujui: September 2024

ABSTRAK

Emas merupakan logam mulia yang mempunyai nilai jual yang tinggi dimana emas diperoleh dari bijih yang diolah dalam proses ekstraksi khususnya melalui proses pelindian. Dengan semakin tingginya nilai emas, pencarian bijih emas juga semakin masif dan kadar emas yang akan diproses semakin kecil. Karena itu untuk mendapatkan rekovery emas yang tinggi, bijih emas perlu dikarakterisasi agar dapat memperoleh penentuan metode ekstraksi emas yang tepat. Uji karakterisasi bijih emas yang dipilih adalah dengan metode *gold department*. Bijih emas yang akan dikarakterisasi berasal dari PT Y sebuah perusahaan pertambangan emas di Indonesia. Pada penelitian ini, karakterisasi yang dilakukan menggunakan empat metode *gold department* yaitu *head assay*, *minegrafi*, *grading analysis* dan *cyanidation tests*. Berdasarkan uji karakterisasi pada sampel, komposisi mineral didominasi oleh kalsit dan kuarsa, sedangkan berdasarkan pengamatan mineragrafi ditemukan mineral sulfida seperti seperti kalkopirit dan pirit. Berdasarkan hasil *grading analysis* pada sampel bijih emas diperoleh bahwa distribusi bijih emas terbesar berada pada fraksi kasar ukuran 16 mesh (1.18 mikron) dengan kadar emas yang terkandung dalam bijih adalah 5,05 ppm. Setelah dilakukan *cyanidation test* persen ekstraksi sampel bijih emas yang diperoleh dari PT Y adalah 88,71% dengan konsentrasi sianida yang digunakan adalah 764 ppm.

Kata kunci: emas; *gold department*; emas kadar rendah; pelindian; hidrometalurgi; metode ekstraksi

ABSTRACT

Gold is a precious metal that has a high selling value where gold is obtained from ores that are processed in the extraction process, especially through the leaching process. With the higher value of gold, the search for gold ore is also getting more massive and the grade of gold to be processed is getting lower. Therefore, to obtain a high gold recovery, gold ore needs to be characterized in order to obtain the determination of the right gold extraction method. The gold ore characterization test selected is by the gold department method. The gold ores were supplied from PT Y, a gold mining company in Indonesia. In this study, the characterization was carried out using four gold department methods, namely head assay, minegraphy, grading analysis and cyanidation tests. Based on the characterization test on the sample, the mineral composition was dominated by calcite and quartz, while based on mineragraphic observations, sulfide minerals such as chalcopyrite and pyrite were found.

Keywords: gold; gold department; low grade ore; leaching; hydrometallurgy; extraction process

PENDAHULUAN

Emas (Au) dan perak (Ag) dapat digunakan sebagai perhiasan, komponen elektronik, dan banyak kegunaan lainnya selain itu emas juga berfungsi sebagai cadangan keuangan suatu negara. Sebelum bijih emas diolah dalam proses ekstraksi melalui pelindian, bijih emas melalui proses pengolahan secara fisik. Untuk mengetahui proses pengolahan dan ekstraksi yang tepat, bijih emas perlu dikarakterisasi agar dapat memperoleh penentuan metode ekstraksi emas yang tepat. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perolehan ekstraksi emas seperti mineral pembawa emas, ukuran partikel, mineral induk dan asosiasi partikel emas dengan mineral induknya serta kehadiran unsur-unsur selain Au dan Ag akan berpengaruh terhadap proses ekstraksi emas. Oleh karena itu, perlu untuk mengetahui karakteristik dari suatu bijih. Mengetahui karakteristik bijih emas dapat menggunakan metode yang disebut dengan metode *gold deportment*.

Gold deportment merupakan cara untuk memperoleh pemahaman yang tepat tentang distribusi bijih emas kompleks dalam pengembangan dan pengoptimalan suatu proses. Tujuan dari gold deportment untuk memperoleh informasi yang jelas atau lengkap mengenai karakteristik bijih emas meliputi ukuran, spesies, dan asosiasi mineral emas (Coetzee, et al., 2011). Analisis menggunakan *gold deportment* dapat digunakan dalam menentukan kehilangan emas dalam tailing dan telah digunakan secara efektif dalam berbagai kasus untuk meningkatkan recovery pada tailing (Goodall, 2008). *Gold deportment* mencakup tujuh metode diantaranya adalah *crushing* dan *milling*, *head assay* dan *chemistry*, mineralogi, *grading analysis*, *heavy liquid separation analysis*, *gravity separation analysis*, *gold deportment*, *cyanidation tests*, dan *diagnostic leach analysis*. Pada penelitian ini, menggunakan empat dari tujuh metode gold deportment yaitu *head assay* dan *chemistry*, mineralogi, *grading analysis*, dan *cyanidation tests*.

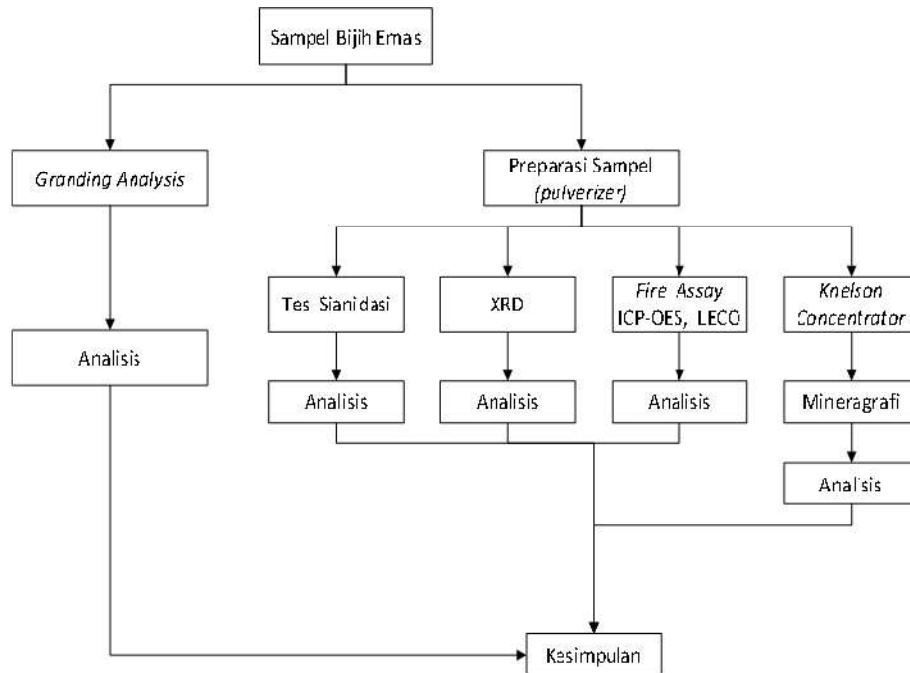
Metode *gold deportment* yang diuji meliputi karakterisasi menggunakan *head assay*, *grading analysis*, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES), mineragrafi serta *fire assay* Informasi mengenai mineral yang terkandung dalam bijih emas serta struktur kristal, dapat diperoleh menggunakan teknik analisis XRD, sedangkan untuk kadar logam emas dan perak dapat diperoleh dengan menggunakan *fire assay*. Informasi mengenai karakterisasi awal sampel bijih secara fisik maupun kimia dapat diperoleh dengan *head assay* dan informasi mengenai distribusi emas dalam berbagai fraksi, dapat diperoleh menggunakan *grading analysis*. Informasi mengenai konsentrasi sianida yang diperlukan, diperoleh menggunakan *direct cyanidation leach* serta informasi mengenai letak dan ukuran emas dalam bijih serta mineral pengikutnya menggunakan mikroskop optik.

METODOLOGI

Metode *gold deportment* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan empat dari tujuh metode gold deportment yaitu *head assay* dan kimia, mineralogi, *grading analysis*, dan *cyanidation tests*.

Prosedur kerja dimulai dari preparasi sampel yang dilakukan menggunakan *pulverizer* kemudian dilanjutkan dengan karakterisasi dan menggunakan XRD, *grading analysis*, *fire*

assay, ICP-OES dan LECO, mineragrafi dan tes sianidasi menggunakan bottle roll. Prosedur penelitian dapat dilihat pada gambar 1 berikut



Gambar 1 Diagram alir penelitian

a. Preparasi Sampel

Preparasi sampel bijih emas dilakukan dengan preparasi kering yaitu pengecilan ukuran dari butiran (*granule*) menjadi serbuk (*powder*) dengan menggunakan pulverizer hingga mencapai ukuran partikel bijih -150 μm atau lebih halus.

b. XRD

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan mineral yang terkandung dalam sampel. Sampel dimasukkan ke dalam plat sampel lalu diletakan pada tempat sampel dalam alat XRD. Kemudian dianalisis menggunakan XRD

c. Fire Assay

Analisis komposisi unsur kimia serta kadar dalam bijih dilakukan dengan *Fire Assay*. Sampel dipreparasi terlebih dahulu hingga berukuran 200 mesh dengan menggunakan *miling*, Selanjutnya dilakukan penambahan flux berupa borax dan sampel dilebur pada temperatur 1050°C. Hasil peleburan dilakukan kupulasi dan dilarutkan dengan aqua regia. Hasilnya kemudian dianalisis menggunakan AAS atau ICP-OES

d. Mineragrafi

Karakterisasi menggunakan mineragrafi sayat poles dilakukan untuk menentukan ukuran dan letak emas dalam bijih serta mineral pengikutnya. Sampel bijih emas yang telah dipreparasi

(200 mesh) dilanjutkan ke proses pemisahan dengan *knelson concentrator* untuk mendapatkan konsentrat dengan kondisi 40% solid yang berupa lumpur (*slurry*). Pada proses pemisahan, mineral berat akan tetap tertahan pada rusuk atau perintang sedangkan mineral ringan dapat mengalir ke atas ke luar dari mulut mangkuk alat *knelson concentrator*. Kemudian hasil konsentrat ini perlu dibuat preparat yang sesuai agar analisis yang dilakukan dengan baik. Preparat yang digunakan adalah sayatan poles. Sampel bubuk dibuat dalam cetakan dan dicampur resin (*epoxicure resin*) kemudian dikeringkan dalam oven selama 2 jam dengan temperatur berkisar 50°C. Setelah itu cetakan diampelas dan telah siap untuk diamati dibawah mikroskop. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Nikon Tipe LV 100 Pol.

e. Grading Analysis

Grading Analysis memberikan indikasi emas asosiasi butir dengan partikel berbutir kasar atau berbutir halus. Sebanyak 1 (satu) kg sampel dilakukan proses *sieving* menggunakan rotap selama 15 menit menjadi enam fraksi ukuran dan setiap fraksi diuji kandungan emasnya.

f. Tes sianidasi

Tes sianidasi digunakan untuk mengetahui konsentrasi sianida yang diperlukan menggunakan *bottle roll test*. Ukuran partikel bijih yang akan dimasukkan berukuran -150 μm atau lebih halus dengan konsentrasi sianida 1000 ppm. Pelindian dilakukan selama 24 jam kemudian di analisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

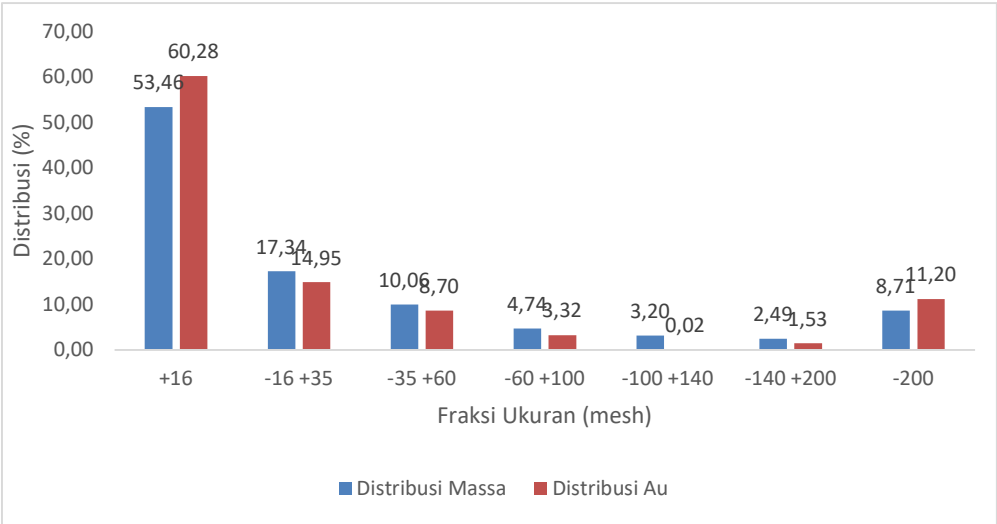
a. Grading Analysis

Data *grading analysis* diperoleh dengan menggunakan sieve analysis dan penentuan kadar emas dengan fire assay. Data grading analysis yang diperoleh adalah seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Hasil Grading analysis bijih emas

Ukuran		Berat (g)	Berat Tertahan (%)	Kumulatif Berat Tertahan(%)	Kumulatif Berat Lolos (%)	Kadar (ppm)	Berat (mg)	Dist (%)
Mesh	µm					Au	Au	Au
+16	+1.18	551.9	53.46	53.46	46.54	5.30	2.92	60.28
-16 +35	-1.18 +500	179	17.34	70.80	29.20	4.05	0.72	14.95
-35 +60	-500 +250	103.9	10.06	80.87	19.13	4.06	0.42	8.70
-60 +100	-250 +150	48.9	4.74	85.60	14.40	3.29	0.16	3.32
-100 +140	-150 +106	33	3.20	88.80	11.20	0.03	0.001	0.02
-140 +200	-106 +75	25.7	2.49	91.29	8.71	2.88	0.07	1.53
-200	-75	89.9	8.71	100.00	0.00	6.04	0.54	11.20
Calculated		1032.3	100			4.70	4.85	100.00

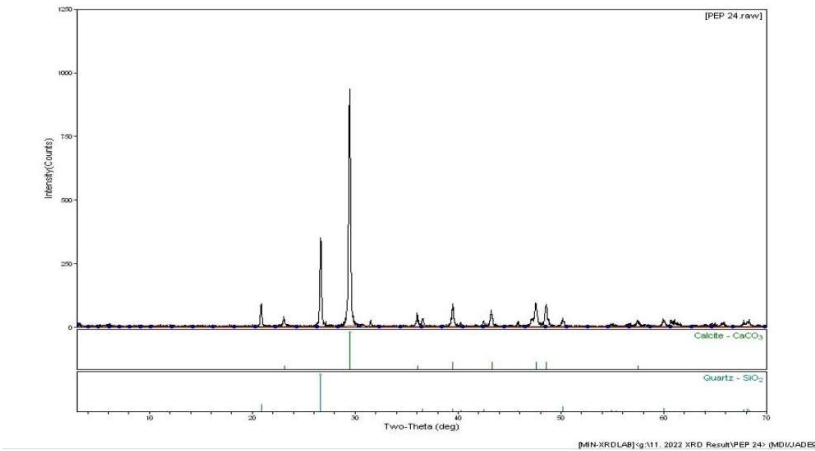
Dari hasil grading analysis dapat diperoleh distribusi emas (Au) adalah 60,28% dengan berat tertahan sebesar 551,9 gram. Kadar emas tertinggi diperoleh pada fraksi ukuran -200 mesh dengan distribusi sebanyak 11,20%. Grafik distribusi massa dan distribusi emas pada setiap fraksi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik distribusi massa dan emas pada setiap fraksi

b. Analisis XRD

Berdasarkan analisis XRD yang digunakan untuk mengetahui komposisi mineral-mineral yang terkandung pada batuan dengan bantuan sinar-X didapatkan spektrum yang mengindikasikan adanya mineral kalsit dan kuarsa seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Spektrum XRD

Untuk komposisi mineral dapat terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi mineral hasil analisis XRD

Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
Kalsit	CaCO ₃	70
Kuarsa	SiO ₂	29
Mineral lainnya		1

c. Analisis Fire Assay

Fire assay merupakan metode analisis karakterisasi untuk mengetahui kadar emas (Au). Dari hasil analisis menggunakan *fire assay*, diperoleh kadar Au dalam sampel bijih emas sebesar 5,05 ppm. Hasil *fire assay* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil analisis *Fire Assay*

Unsur	Kadar Au (ppm)
Au	5, 05

d. Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry (ICP-OES) dan LECO

ICP-OES merupakan metode analisis karakterisasi secara kimia untuk berbagai elemen serta LECO untuk mengetahui kadar karbon (C), dan sulfur (S). Data hasil ICP-OES dan LECO dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil analisis ICP-OES dan LECO

Kadar			
Ag (ppm)	Cu (ppm)	C (%)	S (%)
65,1	31	6,3	0,18

e. Mineragrafi

Mineragrafi merupakan metode untuk mengetahui letak dan keberadaan emas dalam sampel bijih. Hasil konsentrat dari knelson concentrator kemudian dibuat preparat sayatan poles dan kemudian diamati di bawah mikroskop. Data hasil minegrafi dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 2 Mikroskopis emas elektum (Perbesaran 500x)



Gambar 3 Mikroskopis kalkopirit (Perbesaran 500x)



Gambar 4 Mikroskopis pirit (Perbesaran 500x)

f. Tes Sianidasi

Tes sianidasi merupakan metode untuk mengetahui konsentrasi sianida yang diperlukan serta mengetahui persen ekstraksi pada sampel bijih emas. Pada penelitian ini menggunakan bottle roll. Dari hasil tes sianidasi diperoleh persen ekstraksi emas (Au) sebesar 88,71%. Data hasil tes sianidasi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 5 Hasil Sianidasi

Produk	Berat		Kadar (ppm)		% Ekstraksi
	Gram	%	Au	Au	
Solid	500	40	0,57	0,29	88,72
Solution	750	60	2,99	2,24	

Dari hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan komposisi mineral pada sampel didominasi kalsit (CaCO_3) sebesar 70%, kuarsa (SiO_2) sebesar 29% dan mineral lain kurang

dari 1%. Namun dengan menggunakan pengamatan mineragrafi ditemukan mineral sulfida seperti kalkopirit dan pirit (Gambar 3 dan Gambar 4). Selain itu, berdasarkan data LECO juga ditemukan kandungan sulfur (S) sebanyak 0,18% yang menunjukkan kehadiran mineral sulfida. Selain sulfur (S) ditemukan juga karbon (C) yang menunjukkan sampel bijih emas juga mengandung mineral karbonat. Berdasarkan hasil analisis XRD, ICP-OES dan LECO, dan mineragrafi diperoleh bahwa mineralogi bijih yang diperoleh dari PT Y termasuk dalam tipe bijih oksida dan sedikit mineral sulfida serta mengandung mineral karbonat. Pada saat pengamatan mineragrafi ditemukan juga bercak-bercak yang terlihat, dikarenakan pada saat proses preparasi sampel (mounting) tidak dilakukan secara sempurna sehingga menimbulkan liquid gel naik keatas permukaan.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan fire assay diperoleh bahwa kadar emas (Au) adalah 5,05 ppm. Sedangkan logam lainnya setelah dianalisis menggunakan ICP-OES diperoleh kadar perak (Ag) 65,1 ppm serta tembaga (Cu) 31 ppm. Hasil kadar emas melalui grading analysis, diperoleh rata-rata kadar emas adalah 4,70 ppm. Dapat dilihat bahwa distribusi fraksi ukuran, kadar emas tertinggi pada -200# yaitu 6,04 ppm dengan berat tertahan diperoleh hanya sekitar 89,9 gram dari keseluruhan sampel. Selanjutnya kadar emas cukup tinggi dapat dilihat juga pada fraksi kasar yaitu +16# adalah 5,30 ppm dengan distribusi emas 60,28% dan berat tertahan 551.9 gram. Berdasarkan hasil analisis tersebut diperoleh bahwa liberasi emas dapat dicapai pada fraksi ukuran -200#. Hal ini dapat terlihat juga pada fraksi ukuran dengan kadar emas yang mengandung kadar tertinggi yaitu +16#, -16+35# dan -35+60#. Distribusi emas terbesar diperoleh pada fraksi +16# yang menunjukkan kandungan emas terliberasi atau tidak terikat dengan mineral lainnya.

Sampel bijih emas yang berasal dari PT Y juga dilakukan analisis tes sianidasi dengan menggunakan bottle roll. Sampel yang telah dipreparasi dimasukan ke dalam bottle roll dengan kondisi 40% solid dan dilindi selama 24 jam. Tingkat keasaman (pH) dijaga pada rentang 10,5-11 dalam kondisi suasana basa. Kemudian sampel disaring untuk memisahkan antara larutan dan residu. Larutan dianalisis menggunakan ICP-OES dan residu dianalisis menggunakan fire assay. Berdasarkan hasil analisis tes sianidasi didapatkan bahwa persen ekstraksi emas (Au) adalah 88,72% dengan kadar emas (Au) dalam solid 0,57 ppm dan solution 2,99 ppm serta konsentrasi sianidasi awal adalah 1000 ppm dan konsentrasi sianida akhir adalah 764 ppm.

KESIMPULAN

- 1.Karakterisasi sampel bijih yang berasal dari PT Y melalui analisis XRD dan ICP-OES termasuk dalam bijih oksida dapat dilihat dari hasil XRD didominasi oleh kalsit (CaO_3), kuarsa (SiO_2) serta mengandung sedikit mineral sulfida yaitu kalkopirit dan pirit melalui pengamatan mineragrafi serta mineral karbonat (C) dengan kadar 6,3% dari hasil LECO
- 2.Kadar emas yang diperoleh dengan fire assay didapatkan 5,05 ppm dan melalui analisis ICP-OES didapatkan kadar perak (Ag) 65,1 ppm, tembaga (Cu) 31 ppm
- 3.Emas ditemukan dalam bentuk elektor yang memiliki kenampakan warna kuning terang
- 4.Pada hasil grading analysis diperoleh distribusi terbesar pada fraksi +16# dan pada fraksi ukuran -200#. Sedangkan kadar emas tertinggi pada grading analysis diperoleh pada fraksi

ukuran -200# yaitu sebesar 6,04 ppm dengan berat tertahan diperoleh hanya sekitar 89,9 gram atau 11,20% dari keseluruhan sampel.

5. Proses pelindian sianida untuk bijih sampel PT Y diperoleh persen ekstraksi emas adalah 88,72% dengan ukuran partikel -200# serta konsentrasi sianida awal adalah 1000 ppm dan konsentrasi sianida akhir adalah 764 ppm. Jika dilakukan pelindian bisa dengan menurunkan konsentrasi sianida hingga 500 ppm untuk mengurangi kebutuhan sianida dalam proses pelindian karena berdasarkan data penelitian konsumsi sianida hanya dibutuhkan sekitar 236 ppm

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung dan PT Sucofindo serta seluruh pihak yang telah memberikan kesempatan melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminah, S. (2018). Karakterisasi Batuan Bijih Emas. *Elemen: Jurnal Teknik Mesin*, 5(2), 66-70.
- Aminah, S. (2020). Uji Mineragrafi Batuan Emas dari Banyuwangi Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral*, 1(1), 25-30.
- Arham, L. O., Mufakhir, F. R., & Saputra, S. (2020). Studi Ekstraksi Bijih Emas Asal Pesawaran dengan Metode Pelindian Agitasi dalam Larutan Sianida.
- Breg, R.V.d (2000). Inhibition Of the Pregrobbing Phenomenon in Gold Ores.
- Bidari, B. R. (2015). Peningkatan Kadar Emas Pada Batuan Dari Gunung Botak Pulau Buru (Maluku) Dengan Pelarutan Asam dan Kombinasi Asam Dengan Kalium Iodida.
- Coetzee, L. L., Theron, S. J., Martin, G. J., Merwe, J. D., Van Der, & Stanek, T. A. (2011). Modern Gold Deportment And Its Application To Industry. *Minerals Engineering*, 24(6), 565-575.
- Goodall, W.R. (2008). Characterisation of mineralogy and gold deportment for complex tailings deposits using QEMSCAN. *Minerals Engineering*, 21, 518-523.
- Habashi, F. (1970). *Extractive Metallurgy Vol.2 Hydrometallurgy*.
- Haffty, J., Riley, L. B., Goss, W. D. 1977. A Manual on fire assaying and determination of the noble metals in geological materials. *Geological Survey Bulletin*: 1445.
- Hutabarat, I. (2021). *Metalurgi Non Ferrous 7 Emas*.
- Irzon, R & Kurnia. (2014). Optimasi Teknik Fire Assay Dan Kondisi Kupelasi Untuk Memperoleh Komposisi Fluks Terbaik Pada Analisis Kadar Emas.
- Junaedy, M., Efendi, R., & Sandra, S. (2016). Studi Zona Mineralisasi Emas menggunakan Metode Magnetik Di Lokasi Tambang Emas Poboya. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 5(2), 209-222.
- Kamel, N. R., Muhammad. S., Jordan. R.S., Dian. Y.F., & Arifudin. I. (2017). Peran Karakteristik Mineralogi Untuk Menentukan Metode Pengolahan Emas: Studi Kasus Endapan Urat Epitermal Prospek Randu Kuning, Kecamatan Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah.
- Permanasari, A. R., Widyanti, E. M., Nur, D. N., & Najiyah, K. (2015). Pengaruh Laju Alir dan Waktu Injeksi Udara Terhadap Persen Perolehan Pada Ekstraksi Emas (Au) dan Perak. 16-21.

- Pramusanto, Bambang, S., & Sriyanti. (2005). Studi pemisahan mineral berat pada circuit pemrosesan bijih emas dalam usaha peningkatan recovery mineral Au (Ag) di pabrik pengolahan bijih emas PT. Aneka tambang pongkor, Jawa Barat., 138-146.
- Pratiwi, P.D. (2016). Preparasi Nanomaterial Karbon Menggunakan Metode Liquid Mechanical Exfoliation Dibantu oleh Linear Alkylbenzene Dengan Variasi Waktu Pencampuran.
- Rahmanigrum, A. N. N., Asrafil. A. (2021). Alterasi Dan Mineralisasi Bijih Pada Batuan Diorit Di Daerah Wambo, Sulawesi Tengah. 138-149.
- Raifidia, A. M., & Moralista, P. R. Analisis Recovery Emas Hasil Pulverized Bottle Roll Test terhadap Bijih Emas Transisi Kandungan Tembaga Tinggi di PT Bumi Suksesindo Kabupaten Banyuwangi Provinsi Jawa Timur. 50-58.
- Rofika, F., & R., T. A. (2018). Proses Hidrometalurgi Menggunakan Pelarut Aqua Regia Pada Recovery Logam Emas (Au) Limbah Elektronik Pcb Hp. Jurnal Envirotek, 9(1), 63–68. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v9i1.1045>
- Sarempa, A., & Isjudarto. (2014). Optimasi Recovery Emas Dan Perak Dengan Sianidasi Pada Deposit Bijih Emas Kadar Rendah Di Pt. Nusa Halmahera Minerals Daerah Gosowong Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara. Teknik Pertambangan-Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta, 1-8.
- Sari, R. K. (2016). Potensi Mineral Batuan Tambang Bukit 12 dengan Metode XRD, XRF dan ASS. 13-23.
- Setiabudi, A., Rifan. H., & Ahmad. M. (2012). Karakterisasi Material.
- Setiawan, N.I., Sariyanto, & Aloysius. A.S. (2016). Teknik Pembuatan Sayatan Tipis Batuan Di Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Sucofindo (2018). Coal And Mineral Industry.
- Sucofindo. (2022). Informasi Sucofindo. Diambil kembali dari www.sucofindo.co.id.
- Supriadijaja, A. (2007). Penentuan Kadar Emas (Au) Dan Perak (Ag) Metoda Fire Assay: Perbandingan Hasil Analisis Peleburan Tungku Gas Terhadap Tungku Solar. Jurnal Riset Geologi & Pertambangan. 1 (1), 51-59.
- Wahyuningtyas, D., & Puspitaningrum (2013). Ekstraksi Emas dari Batuan Menggunakan Metode Sianidasi dan Amalgamasi Dengan Penambahan Ketela Pohon.
- Widara, M. R., & Abdul, Rauf. (2017). Perbandingan Hasil Logam Emas Pada Pengolahan Bijih Emas Dengan Metode Sianida (Heap Leaching) Berdasarkan Perbedaan Ukuran Butir Umpan. Prosiding Seminar Nasional XII “Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi,” 30-35.
- Widayastuti, Dewi, S. (2016). Analisa Struktur Batuan dari Sungai Aranio Kabupaten Banjar Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). 8-13.
- Yustanti, E., Ardi G., & Tatang W. (2018). Ekstraksi Bijih Emas Sulfida Tatu Minahasa Utara Menggunakan Reagen Ramah Lingkungan Tiosulfat.